

## 河川の土砂堆積様式に基づく底生魚類の生息場評価

石田裕子\*・竹門康弘・池淵 周一

\* 京都大学大学院工学研究科

### 要 旨

河川環境の生息場構造を土砂の侵食-堆積過程と関連させて把握することは、河川環境保全を目的とした応用生態工学的課題として重要である。本研究では、底生魚類の代表としてカワヨシノボリの生息場構造に着目し、土砂の侵食-堆積様式との対応関係を河川の階層や生活史段階ごとに評価した。京都市鞍馬川における野外調査の結果、本種は区間スケールでは堆積傾向の場を好むが、微生息場所スケールでは侵食傾向の場が必要であり、産卵場所には堆積傾向区間にある局所的なはまり石底を選ぶことがわかった。また、稚魚や増水時には緩流部の砂利底を利用することから、生活史を通じて移動可能な範囲内に堆積卓越場と侵食卓越場の連続構造が必要であることがわかった。選好する生息場と底質の配置様式との対応関係を整理し、対象種の存続に必要な生息場構造を包括的に把握する「侵食-堆積構造による生息場評価法」を提案した。

キーワード：生息場評価，侵食-堆積構造，階層性，生息場所選好性，カワヨシノボリ

### 1. はじめに

近年における河川環境管理の課題として、生物の生息場好適性を客観的に評価するとともに、これを管理の方策に反映させる手法の開発が急務となっている（玉井，2004）。河川環境は、階層的な構造を示す複数の空間スケールによって捉えることができる特性がある（Frissell，1986）。河川生物の分布の制限要因は、空間スケールごとに異なることが知られており（井上・中野，1994；渡辺ほか，2001），種ごとに考慮すべき生息場所条件の空間スケールが異なるので、生息場所構造の保全にはさまざまな空間スケールの構造を複眼的に考慮する必要がある（高橋・竹門，1999）。

河川動物の生息場所構造として重要な瀬-淵構造は、石礫が移動する程度の攪乱や砂泥が移動する程度の攪乱の組み合わせによって形成維持されていると考えられる（竹門，1995）。攪乱を通じた土砂供給・侵食・堆積の過程は生息場所を形成する重要な要素であり、土砂挙動を生息場所構造と関連させて定量化することが必要である。

河川動物の定量的な生息場評価法として、

IFIM(Instream Flow Incremental Methodology)が実用化され、様々な魚種についてPHABSIM(Physical HABitat SIMulation model: Bovee et al., 1998)が提案されている。本手法は、生息域を水深、流速、底質といった各物理環境に対する選好性を定量的に評価できるという特徴がある。しかし、個々の環境因子を単独かつ対等に取り扱っている点、一時期の選好曲線をすべての時期に適用している点など、生物の生息要求条件を十分に反映できないという問題がある。これらを解消するために、経年的な瀬-淵構造単位での生息域評価（知花ら，2002）や生活形態ごとに行動特性を変化させる魚類の生息場の総合的評価（田代ら，2002）が行われつつある。

本研究では、河川構造の空間スケールの階層性に着目して生息場選好性を土砂の侵食-堆積様式と対応させるとともに、生活史段階に応じた底生魚類の生息場所構造を評価することを目的とした。このため、区間、瀬-淵、微生息場所の各スケールを土砂堆積様式から把握することによって、従来のPHABSIMを重層的に活用する試みを行った。

本研究の対象とした底生魚類のカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* (Mizuno, 1960; Photo. 1)

は、日本固有種で、富山県神通川付近および静岡県富士川以南の西南日本に広く分布する全長約6cmのハゼ科魚類である。本種は孵化直後から底生生活に入り、川の中だけで一生を送る河川陸封型の生活史をもつ。5~8月になかば砂に埋まった石の下面に大形の卵を1層に産みつけ、オスが保護する(水野, 1989)。また、ヒラタカゲロウ科やコカゲロウ科、エリユスリカ亜科など石の表面を這い回る匍匐型の水生昆虫を採餌し、砂底や礫底よりは石底に多く生息する(竹門ら, 2003)。一定時間内の行動範囲は狭く、1時間の行動圏が0.04m<sup>2</sup>以内という報告もある(近藤, 1997)。よって、遊泳魚に比べ、生息場選好性と河川の物理環境の関係を考察するには好適な材料である。



Photo 1 *Rhinogobius flumineus*. up: male, down: female

## 2. 研究方法

### 2.1 調査地

調査は京都市北部に位置する、淀川水系一級河川の鴨川の支流である鞍馬川約2.8km区間で行なった(北緯35度5分, 東経135度45分; Fig.1)。鞍馬川の最下流には砂防堰堤があり、賀茂川へ流下する表面水はほとんど見られない。この砂防堰堤の影響により、直上には背水波及域が広がっている。砂防堰堤から上流113mのところから上流に向かって、連続した瀬-淵ユニットを1地点として、合計12地点を設け、調査を行った。地点と地点の間は、調査の影響を防ぐため、少なくとも1瀬-淵ユニットを挟んで連続しないように、調査地点を設定した。

京都市都市計画局の2500分の1の地形図から、各調査地点の標高を求めた。蛇行度は地形図上で、調査地点を含む1蛇行区間の上端から下端までの河道の距離を、上端から下端までの最短距離で除して算出した。砂防堰堤からの各調査地点の距離、標高および蛇行度を Table 1 に示す。標高と蛇行度による調査地点の変異について主成分分析を行った結果、第1主成分の固有値は1.21, 固有値ベクトルは蛇行度0.7071,

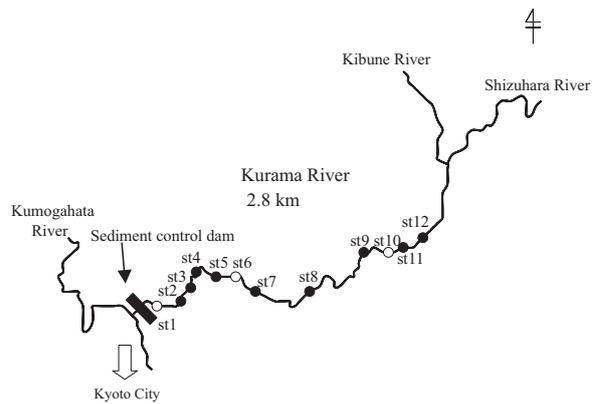


Fig. 1 A map of study area in Kurama River. Open circles show intensive study sites.

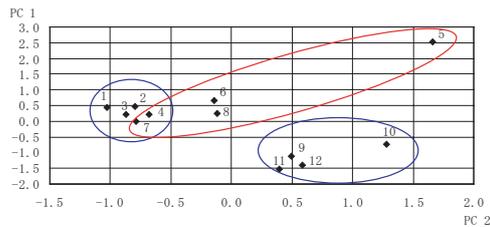
標高-0.7071, 寄与率は60.59%であり、第2主成分の固有値は0.79, 固有値ベクトルは蛇行度0.7071, 標高0.7071, 寄与率は39.41%だった。下流側のst1からst4は標高が低く、蛇行度が大きいことを示し、上流側のst9からst12は標高が高く、蛇行度が小さいことを示した (Fig.2)。また、標高では中間の値を示すst5は蛇行度が大きく、st6~st8は蛇行度が小さかった。よって、st1からst4を砂防堰堤の背水が波及し、土砂が堆積しやすい堆積傾向区間(堆積区), st9からst12を背水の影響を全く受けず、土砂が堆積しにくい侵食傾向区間(侵食区)とし、その間のst5からst8を増水時のみ背水が波及する移行区間(移行区)と分類した。これ以降は、それぞれの区間を表す際に、堆積区, 侵食区, 移行区と表記することにする。

Table 1 Elevation, sinuosity and distance from sediment control dam to the study site.

site	distance from dam(m)	elevation(m)	sinuosity
st1	113	122.63	1.059
st2	208	123.58	1.088
st3	298	124.48	1.050
st4	385	125.35	1.073
st5	485	125.57	1.583
st6	605	125.78	1.182
st7	748	126.00	1.034
st8	1090	128.00	1.136
st9	1995	137.45	1.054
st10	2180	139.30	1.184
st11	2273	138.86	1.000
st12	2330	139.15	1.034

### 2.2 調査期間および方法

区間および瀬-淵ユニットの生息場所選好性の調査は、2003年10月21-30日の合計7日間に行った。各地点内の瀬ユニットと淵ユニットの上端および下端を刺網で仕切り、魚類の移動を防いだ後、タモ網(メッシュサイズ1mm, 間口40cm), およびふくろ網(メッシュサイズ1-3cm)を用いてユニット内のすべてのカ



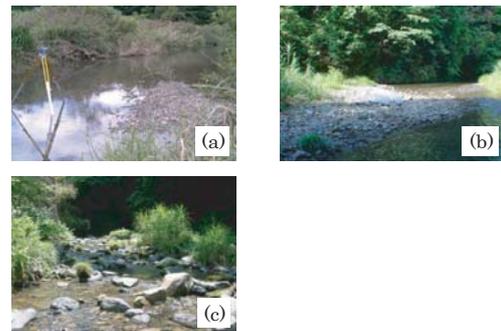
**Fig. 2** Classification of stations in Kurama River based on principal component analysis on altitude and sinuosity of the river channel. Numbers in the graph indicate station numbers.

ワヨシノボリを採集し個体数を数えた。

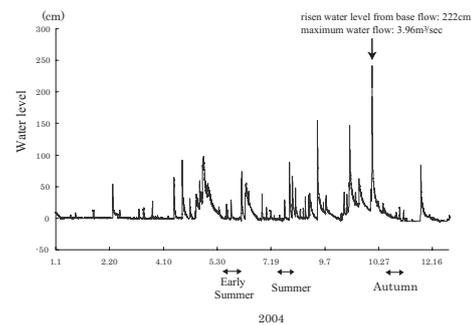
次に、それぞれの区間を代表する景観を持つ集中調査区間として、堆積区はst1（平均勾配1/100；**Photo. 2(a)**），移行区はst6（勾配12/100；**Photo. 2(b)**），侵食区はst10（勾配13/100；**Photo. 2(c)**）を選定し、2004年の平水時（初夏（6月）：0.15m<sup>3</sup>/sec，夏（7-8月）：0.10m<sup>3</sup>/sec）と増水時（秋（10-11月）：0.41m<sup>3</sup>/sec）に、成魚と未成魚の生息場所選好性の調査を実施した。移行区における水位変動と調査期を**Fig.4**に示す。ライトランセクト法により、河道内の地形、60%水深流速(m/sec)，底面流速(m/sec)，水深(cm)，底質，水温，水質を測定した。目視観察により確認されたカワヨシノボリを全長3.0cm以上のものを成魚，それより小さいものを未成魚と分類した。各個体の確認された地点を地図上にプロットし，河道と同様に環境測定を実施した。

底質を岩盤(B)，巨石(R， $\phi > 250\text{mm}$ )，浮き石(石が積み重なり石と石の隙間が空いた状態の石：U， $\phi > 50\text{mm}$ )，はまり石(石の下方が泥や砂のなかに埋もれており石の表面(上・側面)だけが水中に出ている状態の石：H， $\phi > 50\text{mm}$ )，砂利(G， $\phi = 4 \sim 50\text{mm}$ )，砂(S， $\phi > 4\text{mm}$ )，泥(M)を目視で判定し，50×50cmの範囲内で被覆面積の多い順に上位3つを記録した。太田ほか(2002)に基づいて，記録した第1位から第3位の底質をそれぞれ3，2，1点として，さらに各底質のスコア(B，7；R，6；U，5；H，4；G，3；S，2；M，1)を掛け合わせた値の合計値を各地点における底質指数(Substrate Index)とした。底質スコアは，河床材料の粒径に応じて大きなものから小さなものまで6点から1点の間で与えられている。底質指数は6～42の数値となり，数値が高いほど土砂が侵食を受ける傾向にあり，数値が低いほど堆積傾向にあると解釈できる。

産卵場所の流程分布調査は，2005年6月3日～8月



**Photo 2** Pictures of study reaches. (a)Depositional reach, (b)Transitional reach and (c)Erosive reach



**Fig. 3** Seasonal changes in flow regimes in Kurama River during the study period in 2004.

**Fig. 4** Water level fluctuation and study season on transitional reach.

31日の間に合計20日間行った。河床の石礫をランダムにひっくり返し（各地点100個以上），産卵床が発見された礫については，位置を地図上にプロットし，保護オスの有無，オスの全長，礫の長径，短径および卵塊面積を計測し，水深，底質粗度(Bain et al., 1985を改変)，60%水深および底面流速，水温，水質を測定した。

また，集中調査区間では，稚仔魚の生息場所調査を，侵食区：2005年8月5日，30日（流量0.58m<sup>3</sup>/sec）に，移行区：8月5日，31日，9月1日（0.56m<sup>3</sup>/sec）に，堆積区：8月11日，9月3日（0.53m<sup>3</sup>/sec）に行った。河川縦断方向4mの区間を縦・横断方向0.5mに区切り，それぞれ河道内の地形，水深，60%水深および底面流速，底質粗度，浮き石/はまり石割合を測定した。目視観察によって確認された稚仔魚の各個体を地図上にプロットし，生息していた地点の環境条件を河道と同様に測定した。

### 2.3 選好性の算出

選好性(Suitability Index：SI)については，まず対象とする河道区間を平面的に区切ってセルを設定

し、各セルの環境を測定する。区間内の水深、底質、流速など物理環境指標の全データ数に対する一定の値のセル数をBiとする。次に、Biと同じ値の魚類の生息場所数をSiとし、 $SI=Si/Bi$ として求めた。最大のSIを1とすることで基準化し、SIを0~1の間で算出した。また、SIをグラフ化したものを選好曲線とよぶ。

## 2.4 データ解析

本研究の分析項目については、 $\log(n+1)$ 変換を行った上で正規性が得られなかったためノンパラメトリック検定を行った。2群間の差の検定についてはMann-WhitneyのU検定を、3群以上の差の検定についてはKruskal-Wallis検定を行った。2要因の差の検定については、繰り返しのない場合にはFriedman検定を行い、繰り返しのあるデータを使用する場合には、 $\log(x+1)$ 変換を行った後、二元配置分散分析を行った。通常、ノンパラメトリック検定の多重比較はSteel-Dwass検定が使われるが、この方法は大標本近似に基づいているため、サンプルサイズが小さいと分布の近似精度に問題がある(永田ら, 1997)。本研究では、各群の標本数が少ない場合には、ノンパラメトリックにも適用できるSchéffe検定を行った。相関分析についてはスピアマンの順位相関係数検定を行った。重回帰分析については変数減少法を行った。また、稚仔魚の各物理環境要因に対する選好性を明らかにするためにロジスティック回帰分析を行った。以上の検定は統計ソフトStatcelを用いて行った。なお、本稿では、統計値の表示の際に(平均値±標準偏差)の形で示した。

## 3. 結果

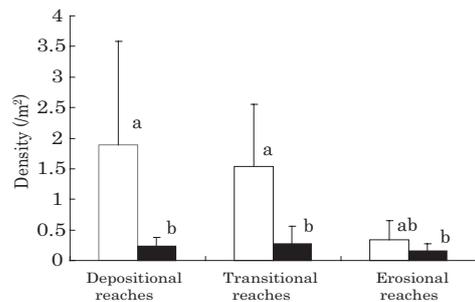
### 3.1 区間および瀬-淵間の選好性

各調査地点の瀬淵別の個体数密度を分析した結果、カワヨシノボリは堆積区( $1.058 \pm 1.422/m^2$ )から侵食区( $0.249 \pm 0.237/m^2$ )になるにつれ減少し(Two-way ANOVA,  $F=3.73$ ,  $P<0.05$ )、淵( $0.221 \pm 0.184/m^2$ )よりも瀬( $1.255 \pm 1.251/m^2$ )に多かった(Schéffe's F test,  $F=17.16$ ,  $P<0.001$ ; Fig.5)。

### 3.2 生活史段階と流量変動による生息場所選好性の変化

#### 3.2.1 各区間の物理環境

各時期における各区間の物理環境のうち底質指数、60%水深流速、水温、pH、ECで有意差が見られた。底質指数は侵食区から堆積区になるにつれ小さくなった(侵食区と移行区、侵食区と堆積区、移行区と堆積区: $P<0.01$ , Schéffe's F test; Fig.6(a))。60%水深流



**Fig. 5** Difference of fish density among reaches and the pool-riffle unit. Each graph shows the mean value and the standard deviation. White and black bars corresponds to riffle and pool, respectively. Data with the same letter are not significantly different ( $P>0.05$ ), Schéffe's F test.

速(m/sec)は堆積区より移行区で高かった( $P<0.05$ , Schéffe's F test; Fig.6(b))。水温(°C)は初夏や夏より秋に低かった( $P<0.01$ , Schéffe's F test; Fig.6(c))。pHは侵食区から堆積区になるにつれ低くなり(侵食区と移行区、移行区と堆積区: $P<0.05$ , 侵食区と堆積区: $P<0.01$ , Schéffe's F test; Fig.6(d))、初夏より秋に高かった(初夏と秋: $P<0.05$ , Schéffe's F test; Fig.6(e))。有意差はみられないものの、水深は侵食区から堆積区にかけて大きくなった(Fig.6(f))。

#### 3.2.2 各区間の分布様式

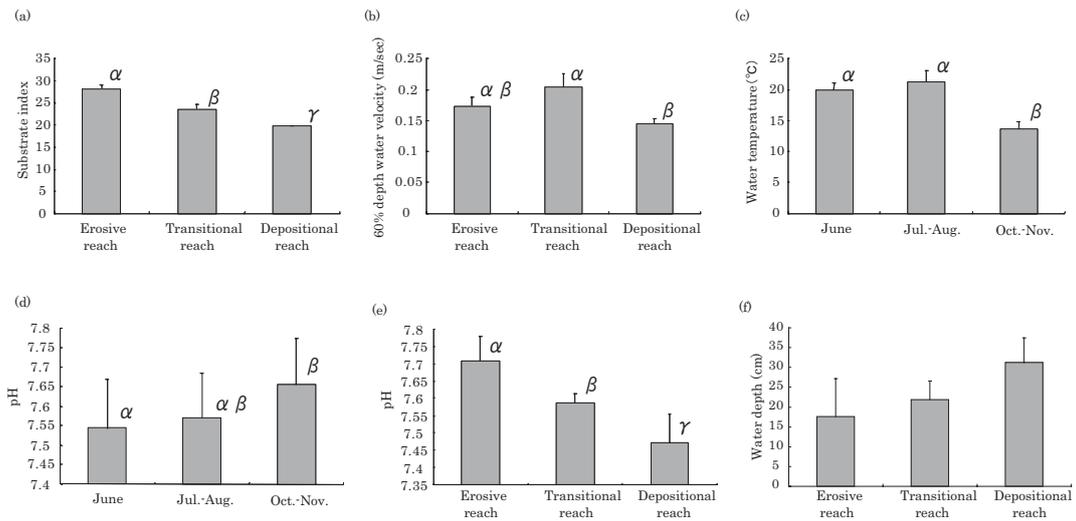
各時期における各区間の成魚の生息密度(/ $m^2$ )はそれぞれ、初夏:侵食区0.028, 移行区0.047, 堆積区0.022;夏:侵食区0.049, 移行区0.084, 堆積区0.017;秋:侵食区0.000, 移行区0.033, 堆積区0.045であった。また、未成魚の生息密度はそれぞれ、初夏:侵食区0.000, 移行区0.052, 堆積区0.036;夏:侵食区0.031, 移行区0.064, 堆積区0.050;秋:侵食区0.000, 移行区0.042, 堆積区0.047であった。各時期および各区間の生息密度は成魚では違いは見られなかったが、未成魚は侵食区よりも移行区や堆積区に多く生息していた(侵食区と移行区: $P<0.01$ , 侵食区と堆積区: $P<0.05$ , Schéffe's F test; Fig.7)。

#### 3.2.3 各物理環境要因に対する選好性

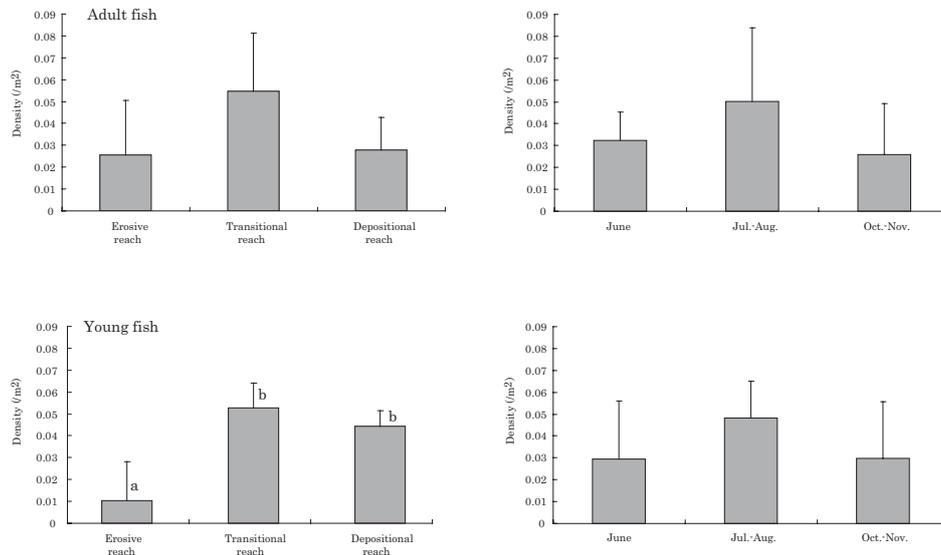
各物理環境要因に対する成魚と未成魚の生息場所選好性をTable 2にまとめた。

##### ・水深

平水期には、未成魚はいずれの区間においても浅いところを選好していた。初夏の侵食区には生息していなかった。いっぽう、堆積区と移行区の成魚は、浅いところと深いところに生息するという、二極化の傾向がみられた。侵食区の成魚は浅場を選好していた。



**Fig. 6** Difference in environmental parameters among reaches and seasons shown with mean values and SD. (a) Substrate index, (b) Water velocity of 60% depth (m/sec), (c) Water temperature (°C), (d) pH (season), (e) pH (reach), (f) Water depth (cm). Data with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ , Schéffe's F test).



**Fig. 7** Difference in fish density among reaches and seasons for adult (upper) and young (lower) stages of the freshwater goby. Data with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ , Schéffe's F test).

浅場が減少した増水期になると、未成魚は深場へ、成魚は浅場へと生息場所を移動させた。また、成魚、未成魚ともに侵食区からは逸出した。

#### ・底質

平水期には、堆積区では砂利底やあまり石底が、移行区と侵食区では浮き石底やあまり石底が優占して分布していた。この時期、未成魚はそれぞれの区間で優占している底質を選好していた。生息に適した浮き石や砂利があるにも関わらず、初夏の侵食区に未成魚は見られなかった。成魚は主に浮き石底や

あまり石底を選好し、侵食区では巨石も利用していた。しかし、堆積区において、それらの石がない場合には岩盤も利用していた。

増水期には、侵食区や移行区でも砂利などの細かい底質が多く出現し、未成魚は平水期と同様の砂利やあまり石底に生息したが、成魚も細かい底質に生息するようになった。

#### ・流速

平水期、増水期に関わらず、いずれの区間も 0.2m/sec 以下の緩やかな流速の場所が広く分布して

**Table 2** Habitat suitability of the freshwater goby in each reach. Yellow color shows the goby preferred cobble bed in riffle. Orange color shows habitat suitability of young, which preferred gravel and cobble bed in riffle, whereas, blue shows preference of adult to cobble of riffle and bedrock of pool. Green color shows that both adult and young preferred cobble and pebble bed in pools in the depositional and transitional reaches under high flow conditions.

	Young			Adult			
	Early summer (June)	Summer (July-August)	Autumn (October-November)	Early summer (June)	Summer (July-August)	Autumn (October-November)	
River flow ( $m^3/sec$ )	0.15	0.10	0.41	0.15	0.10	0.41	
Depositional reach	Depth	n=13 11±3cm	n=18 21±10cm	n=20 17±12cm	n=8 17±33cm	n=6 36±20cm	n=19 41±12cm
	Substrate	Gravel	Gravel, Cobble & a little Mud	Cobble, Gravel & a little Sand	Cobble, Boulder	Cobble, Gravel & a little Bedrock	Cobble & Gravel
	Velocity( $m/sec$ )	0.301±0.076	0.357±0.177	0.106±0.058	0.219±0.133	0.218±0.107	0.120±0.047
Transitional reach	Depth	n=21 13±5cm	n=26 10±5cm	n=23 25±16cm	n=19 19±20cm	n=34 17±13cm	n=18 28±19cm
	Substrate	Cobble, Gravel	Cobble, Gravel	Gravel, Cobble & a little Sand	Cobble	Gravel-Boulder	Cobble, a little Mud & Sand
	Velocity( $m/sec$ )	0.328±0.370	0.213±0.187	0.120±0.107	0.268±0.129	0.140±0.122	0.173±0.136
Erosional reach	Depth	n=0	n=10 11±3cm	n=0	n=9 11±3cm	n=16 13±6cm	n=0
	Substrate	-	Cobble, Boulder	-	Cobble	Cobble, a little Gravel & Boulder	-
	Velocity( $m/sec$ )	-	0.182±0.090	-	0.269±0.242	0.210±0.167	-

いた。平水期には、未成魚は比較的流れの早い場所を選好していたが、増水期になると緩やかな場所へ移動した。成魚は未成魚よりも流れの緩やかな場所を選好していたが、増水期にはより流れの緩やかな場所に移動した。

### 3.3 産卵場所と成育場所の選好性比較

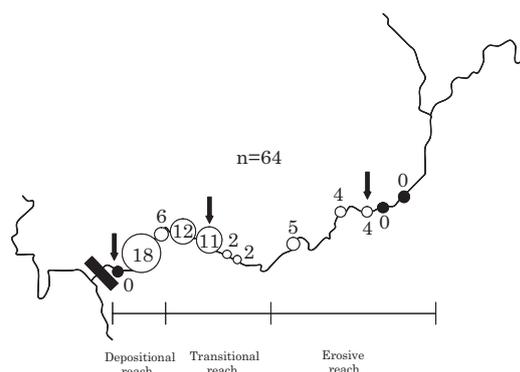
#### 3.3.1 繁殖期と産卵場所の環境特性

カワヨシノボリの産卵床は調査期間内に64個確認された。このうち、保護オスが確認された産卵床は59個であり、全長は $5.63 \pm 1.07cm$  (範囲5-8cm)であった。卵塊面積は $7.25 \pm 3.91cm^2$  (1.5-21.0 $cm^2$ )であった。

産卵床は、どの区間でも確認されたが、その分布は同一区間内でも特定の瀬-淵ユニットに位置していた。有意差はみられないものの、堆積区や移行区よりも侵食区で数が減少した ( $P=0.48$ ,  $d.f.=2$ ,  $H_{adj}=1.52$ , Kruskal-Wallis test; **Fig.8**)。産卵床の流程分布は堆積区上部と移行区下部に集中する傾向があった。

集中区間で確認された産卵床とその後出現した稚仔魚の分布図を **Fig.9** に示す。産卵床が確認された場所は一部の区間を除いて、砂礫堆上流端に位置する淵尻の瀬頭であった (**Fig.9(b)**)。各産卵床の形成場所の水深は平均  $21.53 \pm 13.19cm$  ( $n=64$ ,  $range=4.8-53.6cm$ ) であった。産卵床として使用された礫は、長径  $12.48 \pm 2.57cm$  (8-22cm), 短径  $8.87 \pm 2.18cm$  (5-14cm) であった。また、60%水深流速  $12.72 \pm 8.94cm/sec$  (0.38-36.54 $cm/sec$ ), 底面流速  $6.65 \pm 4.60cm/sec$  (0.37-20.69 $cm/sec$ ), 底質粗度  $4.17 \pm 0.34$  (2.96-4.17) であった。

堆積区の集中区間では産卵床が確認されなかった (**Fig.9(a)**)。侵食区と移行区の集中区間における産卵床の各物理環境条件に対する選好性を **Fig.10** および **Fig.11** に示す。侵食区では浅くて流れの緩やかな砂・砂利底にある大礫 (長径8-12cm) に産卵してい



**Fig. 8** Distribution patterns of spawning bed in *R. flumineus*. The numerical numbers show the number of egg masses found in the pool-riffle unit. Black arrows indicate intensive study sites.

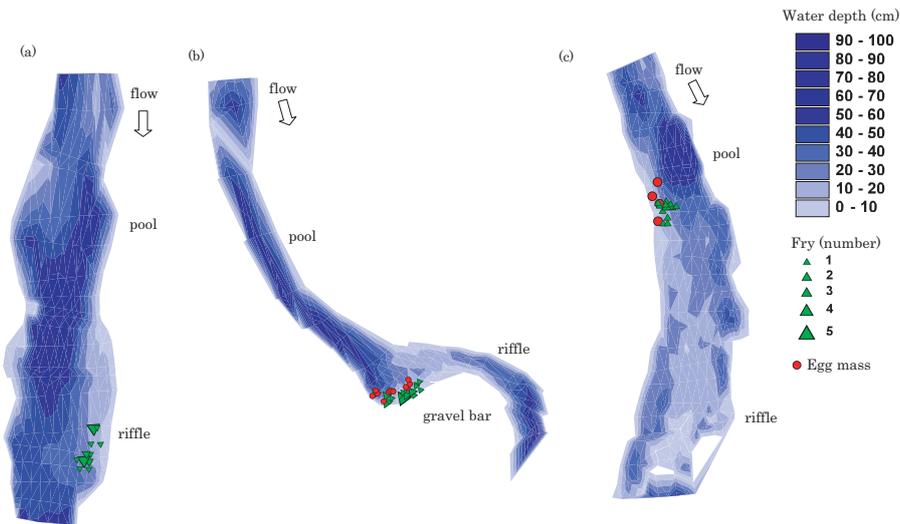
た ( $n=4$ )。移行区では侵食区よりも浅い環境が多いにも関わらず、産卵床は水深40-50cmの深くて流れの緩やかな石礫底の大礫 (長径10-20cm) で確認された ( $n=11$ )。

オスの全長と卵塊面積、水深には正の相関が (卵塊面積:  $rs=0.43$ ,  $P<0.05$ , 水深:  $rs=0.56$ ,  $P<0.001$ ), 流速には負の相関が ( $rs=-0.15$ ,  $P<0.01$ ) それぞれ見られた。卵塊面積は礫の長径とも相関が見られた ( $rs=0.54$ ,  $P<0.001$ )。

重回帰分析により卵塊面積に対する各要因の影響を分析した結果、長径、水深、勾配で有意差が見られた (**Table 3**)。すなわち、深い場所のサイズが大きい石ほど卵塊面積が大きかった。

#### 3.3.2 集中調査区間の物理環境

集中調査区間の物理環境の差異を分析した結果、いずれの要因でも有意差が見られた (Kruskal-Wallis test,  $d.f.=2$ , いずれも  $P<0.001$ ; **Fig.12**)。水深は堆積区で大きく、移行区で小さかった (Steel-Dwass's test,



**Fig. 9** Distribution of spawning beds where egg mass was found (red circle) and fry (green triangle). (a) Depositional reach, (b) Transitional reach, and (c) Erosive reach.

**Table 3** Influence of each environmental parameter on the sized egg mass measured as a total area of each egg mass.

	R=0.65	R <sup>2</sup> =0.42	P<0.01
	Regression coefficient		P value
Diameter of stone	0.68		P<0.001
Substrate roughness	-1.62		0.71
Substrate variation	-3.41		0.53
Water depth	0.13		P<0.01
Water velocity of 60% depth (cm/sec)	-0.09		0.10
Ratio of unembedded stone	3.35		0.64
Ratio of embedded stone	1.44		0.91
Gradient	-40.70		P<0.01
DO(mg/l)	-0.08		0.86
Water temperature	-0.92		0.11
pH	0.55		0.78
EC(μS)	0.02		0.41

侵食区と移行区： $W=3.71$ ，侵食区と堆積区： $W=3.96$ ，移行区と堆積区： $W=-8.30$ ，ともに $P<0.05$ ）。60%水深流速は移行区で大きく，堆積区で小さかった（Steel-Dwass's test, 侵食区と移行区： $W=-4.73$ ，侵食区と堆積区： $W=9.68$ ，移行区と堆積区： $W=10.41$ ，ともに $P<0.05$ ）。底面流速も移行区で大きく，堆積区で小さかった（Steel-Dwass's test, 侵食区と移行区： $W=-3.89$ ，侵食区と堆積区： $W=9.60$ ，移行区と堆積区： $W=9.86$ ，ともに $P<0.05$ ）。底質粗度は移行区で高く，堆積区で低かった（Steel-Dwass's test, 侵食区と移行区： $W=-7.52$ ，侵食区と堆積区： $W=6.82$ ，移行区と堆積区： $W=13.17$ ，ともに $P<0.05$ ）。浮き石割合は移行区で高く（Schéffe's F test, 侵食区と移行区，移行区と堆積区： $P<0.001$ ），はまり石割合は堆積区で低かった（Schéffe's F test, 侵食区と堆積区，

移行区と堆積区： $P<0.001$ ）。

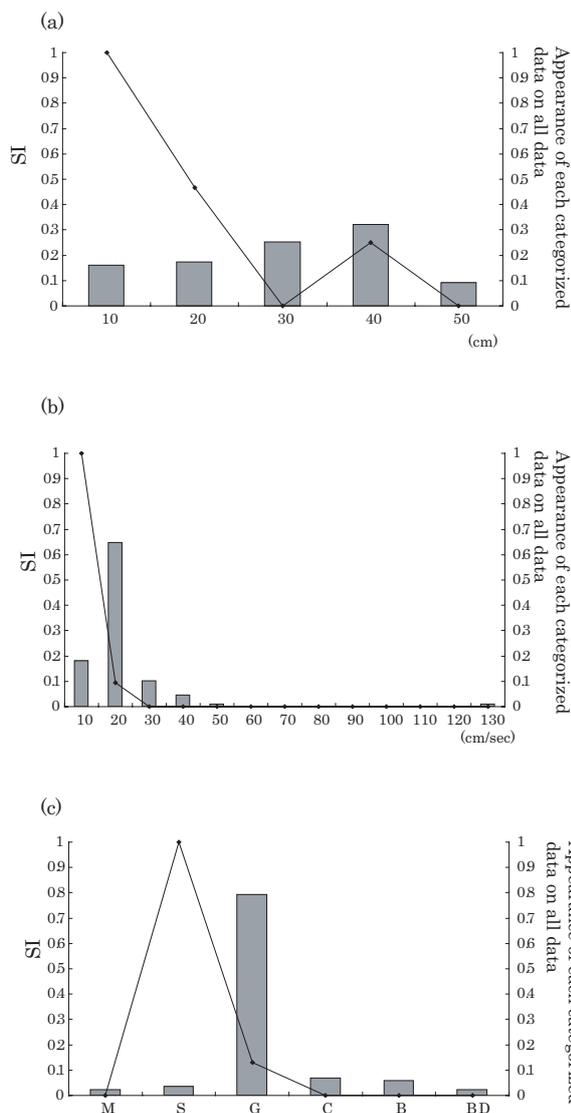
### 3.3.3 稚仔魚の生息に対する各要因の影響

稚仔魚の生息に対する各要因の影響を調べるために，ロジスティック回帰分析を行った。その結果，いずれの区間でも，底質よりは水深や流速が影響していた（Table 4）。堆積区では浅いところに生息していた。移行区では流れの緩いところに，侵食区では浅くて底面流速の小さいところに生息していた。

### 3.3.4 稚仔魚の生息場所選好性

各調査区で確認された稚仔魚の個体数はそれぞれ，侵食区14個体，移行区30個体，堆積区20個体であった。それぞれの区間の水深と稚仔魚の分布様式をFig.9に示す。移行区では稚仔魚は産卵床のあった位置よりもさらに浅い場所に分布していた（Fig.9(b)）。堆積区でも浅い場所に分布していた（Fig.9(a)）侵食区では，産卵床よりも深い場所に分布していた（Fig.9(c)）。

また，各区間における稚仔魚の分布と60%水深流速と底質の分布をFig.13およびFig.14に示す。各調査区における稚仔魚の生息場所の環境はそれぞれ，侵食区：水深 $14.79 \pm 6.72\text{cm}$ （範囲6.8-27.2cm），60%水深流速 $15.34 \pm 3.60\text{cm/sec}$ （8.06-24.11cm/sec），底面流速 $9.02 \pm 2.95\text{cm/sec}$ （5.34-17.57cm/sec），底質粗度 $4.10 \pm 0.12$ （4.0-4.4），移行区：水深 $15.01 \pm 8.52\text{cm}$ （2.6-33.8cm），60%水深流速 $6.73 \pm 4.12\text{cm/sec}$ （0.47-15.83cm/sec），底面流速 $4.87 \pm 5.24\text{cm/sec}$ （0.43-26.56cm/sec），底質粗度 $4.50 \pm 0.13$ （4.16-4.72），堆積区：水深 $20.93 \pm 4.60\text{cm}$ （12.6-29.2cm），60%水深流速 $5.58 \pm 1.98\text{cm/sec}$ （2.38-11.49cm/sec），底面流速 $3.05 \pm 0.90\text{cm/sec}$ （1.47-4.60cm/sec），底質粗度3.87

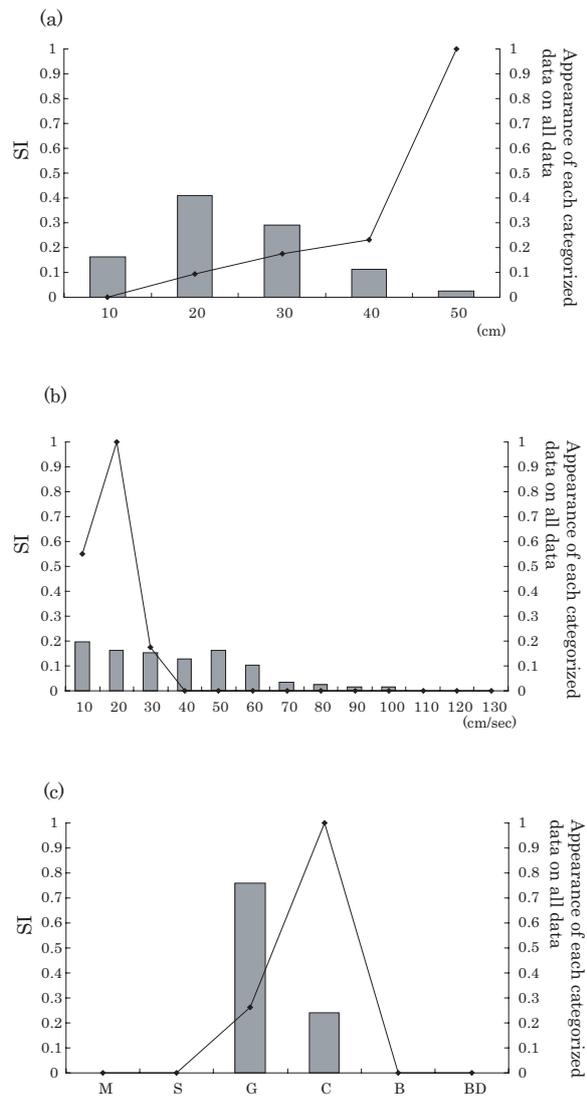


**Fig. 10** Relations of the habitat suitability of spawning bed (line graph) to the distribution pattern of each environmental factor (bar graph) on erosive reach. (a) Water depth, (b) water velocity of 60% depth, (c) substrate. M: mud, S: sand, G: gravel, C: cobble, B: boulder, BD: bedrock.

±0.31 (2.64-4.08)であった。

水深に対する稚仔魚の生息場所選好性と河道区間内の環境分布を **Fig.15** に示す。堆積区は侵食区や移行区に比べ、30~50cmの水深が分布していた。侵食区や移行区では水深20cm以下で選好性が高く、堆積区では20~30cmで高かった。

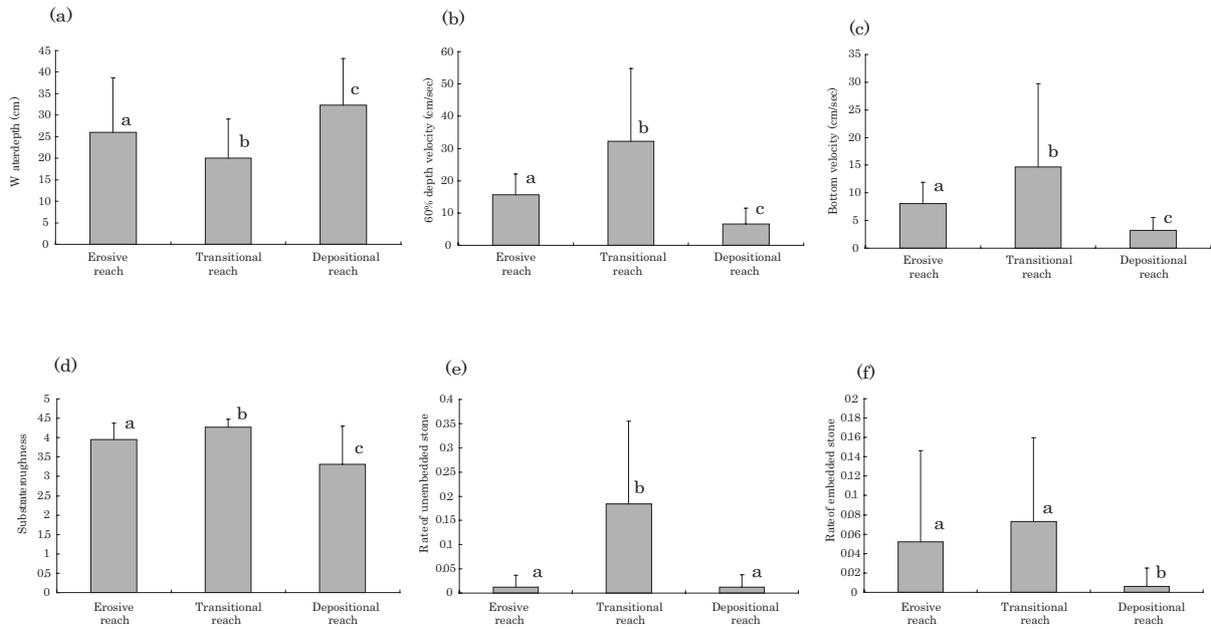
60%流速に対する稚仔魚の生息場所選好性と河道区間内の環境分布を **Fig.16** に示す。侵食区や堆積区では20cm/sec以下の場所が多かったのに対して、移行区では流れの緩やかな場所から速い場所



**Fig. 11** Relations of the habitat suitability index (SI) of spawning bed (line graph) to the distribution pattern of each environmental parameter (bar graph) in the transitional reach. (a) Water depth, (b) water velocity of 60% depth, (c) substrate. M: mud, S: sand, G: gravel, C: cobble, B: boulder, BD: bedrock.

まで多様な流速環境が存在していた。それに関わらず、移行区の選好性は堆積区と同様に、20cm/sec以下（とくに10cm/sec以下）にしか表れなかった (**Fig.16(b)**)。いっぽう、侵食区では他の2区間に比べ、10~20cm/secの環境が多く、選好性もその場所が高かった (**Fig.16(a)**)。

底質に対する稚仔魚の生息場所選好性と河道区間内の環境分布を **Fig.17** に示す。いずれの区間も砂利底が多く、侵食区では砂利底のみ選好性を示した (**Fig.17(a)**)。移行区では砂利底よりも礫底を選好し



**Fig. 12** Differences in physical environmental parameters among reaches. (a) Water depth, (b) water velocity of 60% depth, (c) bottom velocity, (d) substrate roughness, (e) rate of unembedded stone, and (f) rate of embedded stone. Data with different letters are significantly different ( $P < 0.05$ , Steel-Dwass's test or Schéffe's F test).

**Table 4** Influence of each environmental parameter on habitat preference by the fry of *R. flumineus* based on the logistic regression analysis.

		Regression coefficient	$\chi^2$ test statistic	odds ratio	P value
Depositional reach	Substrate roughness	0.260	0.107	1.297	0.743
	Substrate variation	-0.106	0.005	0.899	0.941
	Rate of unembedded stone	0.025	0.000	1.025	0.999
	Rate of embedded stone	0.175	0.000	1.191	0.993
	Water depth	-0.145	9.598	0.865	$P < 0.01$
	Water velocity of 60% depth (cm/sec)	0.075	0.487	1.078	0.485
	Bottom velocity (cm/sec)	0.233	1.716	1.262	0.190
	Constant	-0.671	0.042	0.511	0.837
Transitional reach	Substrate roughness	-0.853	0.004	0.426	0.948
	Substrate variation	6.666	1.300	785.626	0.254
	Rate of unembedded stone	4.746	0.138	115.104	0.710
	Rate of embedded stone	4.754	0.140	116.103	0.709
	Water depth	0.013	0.139	1.013	0.710
	Water velocity of 60% depth (cm/sec)	-0.222	8.564	0.801	$P < 0.01$
	Bottom velocity (cm/sec)	0.061	1.392	1.063	0.238
	Constant	-0.255	0.000	0.775	0.996
Erosive reach	Substrate roughness	0.098	0.009	1.104	0.926
	Substrate variation	-0.193	0.010	0.824	0.920
	Rate of unembedded stone	5.291	0.181	198.476	0.671
	Rate of embedded stone	-5.837	0.700	0.003	0.403
	Water depth	-0.138	10.166	0.871	$P < 0.01$
	Water velocity of 60% depth (cm/sec)	-0.061	0.810	0.941	0.368
	Bottom velocity (cm/sec)	0.225	4.048	1.252	$P < 0.05$
	Constant	0.124	0.001	1.132	0.976

ていた (Fig.17(b))。堆積区では砂利底のほかにも砂底にも一部生息していた (Fig.17(c))。

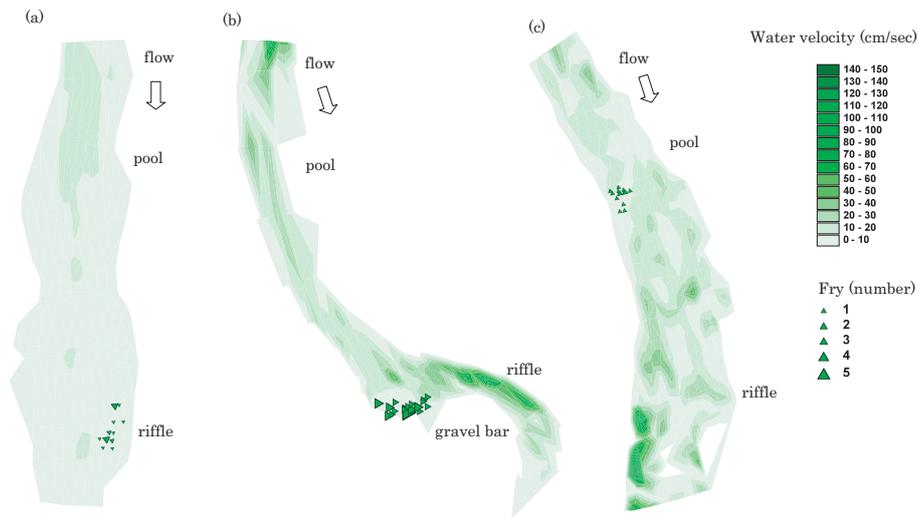
#### 4. 考察

##### 4.1 区間および瀬・淵間の選好性

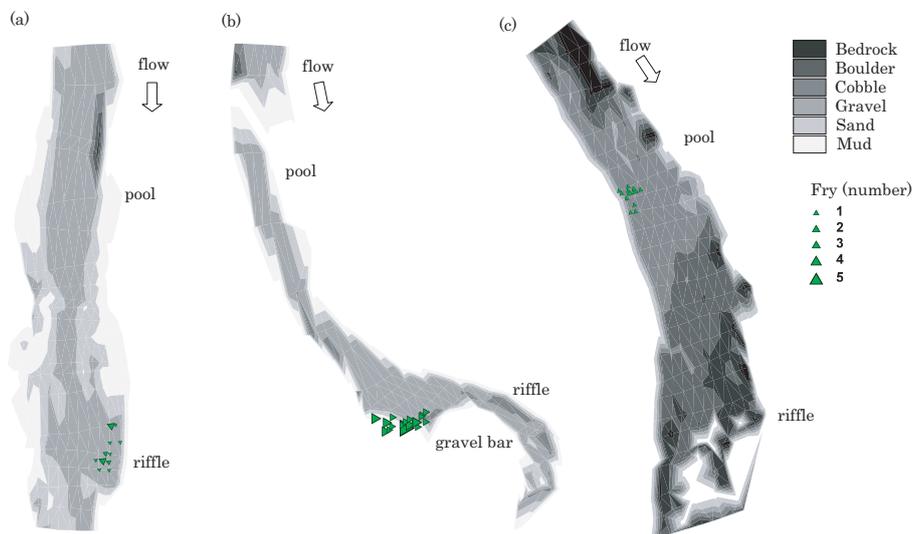
本研究の結果、カワヨシノボリは堆積傾向区間や移行区間の中でも瀬に多く生息していた。本種は瀬の石礫底に生息し、産卵基質として石礫を利用する

ことが知られている (Mizuno, 1960)。また、採餌場所や隠れ場所としても、石礫底の存在が重要であり (近藤, 1997; Sone et al., 2001), これらのことから微生息場所条件として河床の底質, すなわち石礫底という侵食卓越場が必要であると考えられる。

カワヨシノボリの生息場所要求について, 区間スケールによる変異に関しては, これまで議論されてこなかった。本研究では, 侵食傾向の区間よりも堆積傾向の区間に多く生息していた。ヨシノボリ属は,



**Fig. 13** Distribution patterns of water velocity at 60% depth in intensive study sites. (a) Depositional reach, (b) Transitional reach, and (c) Erosive reach.



**Fig. 14** Distribution patterns of substrate on intensive study sites. (a) Depositional reach, (b) Transitional reach, and (c) Erosive reach.

産卵期には沈み石の多い平瀬にどの型も集まる傾向が見られることが知られており（水野，1981），土砂が堆積しやすい区間の瀬に形成される沈み石や浮き石底が生息場所条件として重要であると考えられる。

#### 4.2 生活史段階と流量変動による生息場所選好性の変化

流量変動による3つの区間のカワヨシノボリの生息場所選好性を調べた結果は **Table 2** になり，これらをまとめると以下のように生活史段階と流量により選好性が変化した。

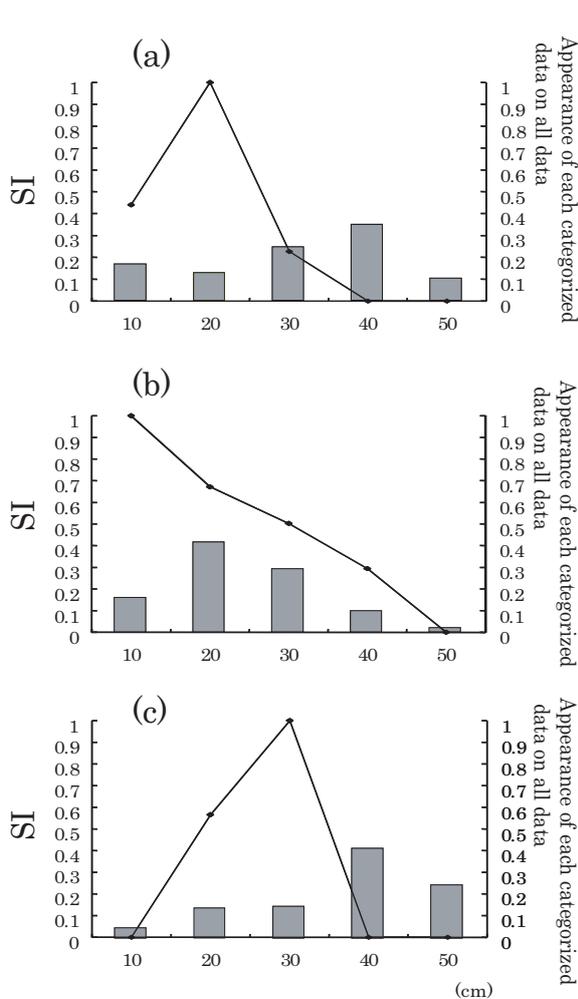
- 増水時：成魚・未成魚→流れの緩やかな深場の

礫底や砂利底（堆積区・移行区）

- 平水時：未成魚→流れのある浅場の砂利・礫底（堆積区・移行区）
- 平水時：成魚→瀬の礫底（侵食区・移行区）と淵の岩盤（堆積区）

##### 4.2.1 平水時における生息場所利用様式

調査地での繁殖期の直前である初夏には，成熟した個体は水深が小さい（侵食区：n=4， $9.95 \pm 3.19$ cm，移行区：n=5， $29.44 \pm 28.25$ cm）石礫底に営巣していた。いっぽう，この時期，堆積区にも成魚は生息していたが，成熟個体は確認されなかった。この区間は砂利や砂などの細かい底質が多く，産卵に適した浮き石がほとんどなかった。そのため，成魚は生息で

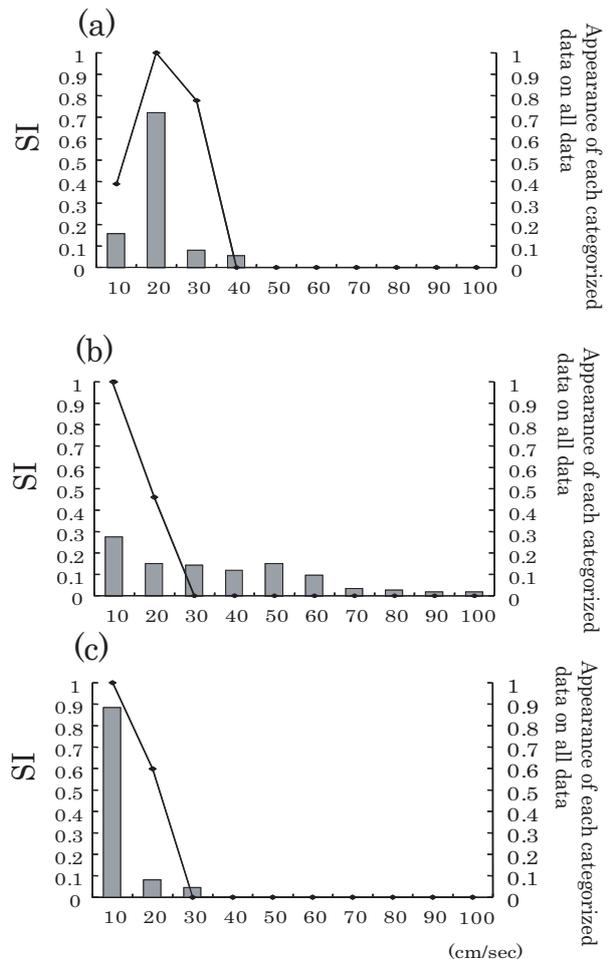


**Fig. 15** Relations of the habitat suitability index (SI) of fry for water depth (line graph) to the distribution pattern of each environmental parameter (bar graph). (a) Erosive reach, (b) transitional reach, and (c) depositional reach.

きたとしても、堆積区では繁殖は不可能であると思われる。

侵食区や移行区と違って、堆積区の成魚は岩盤にも生息していた。堆積区には浮き石がほとんどなかったため、浮き石に生息できなかった成魚はやむを得ず岩盤も利用したと考えられる。通常カワヨシノボリが岩盤に生息するとは考えにくいですが、今回生息していた岩盤はいずれも80cm以深であり、本調査地での捕食者と考えられるサギ類などの鳥類からは、浮き石の影に隠れずともカワヨシノボリは身を守れると思われる。

未成魚は成魚に比べて、瀬に生息する傾向が強かった。そして、はまり石底や砂利底に生息していた。この時期の未成魚は全長1.0~1.5cmであり、3cmほ

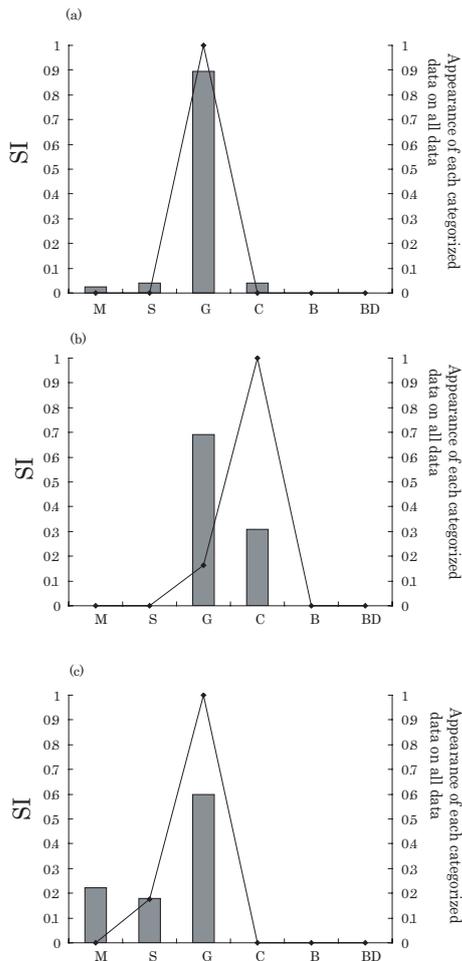


**Fig. 16** Relations of the habitat suitability index (SI) of fry for water velocity of 60% depth (line graph) to the distribution pattern of each environmental parameter (bar graph). (a) Erosive reach, (b) transitional reach, and (c) depositional reach.

どの砂利の隙間にも隠れることができる。よって、砂利底も未成魚にとっては生息するのに不利なことはないと思われる。

#### 4.2.2 増水時における生息場所利用様式

増水時には、成魚、未成魚ともに平水時とは異なる選好性を示した。水深について見ると、いずれの区間でも浅い場所が減少し、カワヨシノボリは浅場から深場までの広い範囲に生息していた（堆積区：39.4 ± 11.9cm, 移行区：25.0 ± 17.2cm）。秋調査を行う前の2004年10月20日には台風23号による豪雨のため砂礫堆が水没するほどの大きな増水（基底流からの増水位222cm, 最大流量3.69m<sup>3</sup>/sec; Fig.4）があり、河道内の土砂が大きく動いた。これにより平水時に比べて、いずれの区間でも細かい底質の割合が



**Fig. 17** Relations of the habitat suitability index (SI) of fry for substrate (line graph) to the distribution pattern of each environmental parameter (bar graph). (a) Erosive reach, (b) transitional reach, and (c) depositional reach. M: mud, S: sand, G: gravel, C: cobble, B: boulder, BD: bedrock.

増えた。未成魚だけでなく成魚の底質に対する選好性が砂利にも表れた理由としては、河道区間全体の河床材の小粒化が考えられる。未成魚は平水時と増水時で生息している流速が異なり (Mann-Whitney's U test, 堆積区:  $U_s=132$ ,  $P<0.001$ ; 移行区:  $U_s=367$ ,  $P<0.05$ ), 増水時に、より流れの緩やかな場所へと生息場所をシフトさせた。成魚も有意差は見られないものの、平水時に比べて増水時に緩流部に移動する傾向が見られた。つまり、成魚と未成魚のどちらも平水時に比べて、淵のほうに生息場を広げた。

いっぽう、侵食区ではカワヨシノボリの生息が確認されなかった。侵食区は3つの区間の中で最上流に位置し、ステッププール構造 (長谷川, 1988) を

もつ典型的な溪流の景観をあらわしている。おそらくカワヨシノボリはピーク流量時にその流速に耐え切れなくなって下流の移行区や堆積区に流されたのではないだろうか。やがて平水位になると、下流からカワヨシノボリが遡上し、また侵食区に生息すると考えられる。

### 4.3 産卵場所と成育場所の選好性比較

#### 4.3.1 産卵環境特性

区間スケールで見ると、侵食区よりも堆積区や移行区に産卵床が多く見られた。カワヨシノボリはなかば砂に埋まった石の下面に大形の卵を1層に産みつけ、オスが保護することが知られている (水野, 1989)。侵食区は堆積区や移行区に比べて全体的に岩盤や巨礫が多く分布しているため、産卵に適した場所があまりなかったと考えられる。

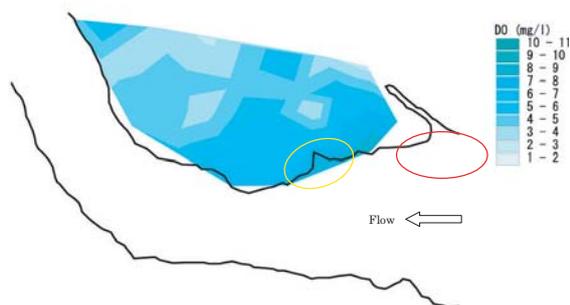
これまで知られているカワヨシノボリの具体的な産卵環境についての情報は少ないが、同じ河川陸封型のキバラヨシノボリや両側回遊型のクロヨシノボリでは早瀬の礫底に産卵することが知られている (四宮ら, 2005; Takahashi & Yanagisawa, 1999)。こういった場所は換水率が高いと考えられている。

ところが、本研究のカワヨシノボリは一部を除いて、砂礫堆上流端に位置する淵尻の瀬頭の流れの緩やかな水深10-40cmの礫底 (長径  $12.48 \pm 2.57$  cm) に産卵していた。これはキバラヨシノボリやクロヨシノボリが強い流れに耐えて移動しにくい大きさの大礫や巨礫 (キバラヨシノボリ: 長径  $27.0 \pm 5.4$  cm (四宮ら, 2005), クロヨシノボリ:  $31.4 \pm 10.6$  cm (Takahashi & Yanagisawa, 1999)) に産卵するのと対照的であった。

一般的に、淵尻の瀬頭ではサケ科やコイ科の魚類や多くの水生昆虫が産卵することが知られている (Kitano & Shimazaki, 1995; Katano, 1990; 竹門, 1997)。とくに、移行区の集中調査区間であった淵尻の瀬頭付近では、砂礫堆内の間隙水の動水勾配と流速が大きく、結果として溶存酸素濃度が高いことが知られている (竹門ほか, 2005; Fig.18)。この場所はモンカゲロウ *Ephemera strigata* の産卵場所として利用されていた (竹門ほか, 2005)。礫の裏に卵を産みつけ、卵が孵化するまで酸素を供給し保護するカワヨシノボリのオスにとっても、溶存酸素濃度が高いと、ホバリングの労力が減り、保護しやすいということもあるかもしれない。

砂礫堆内の間隙水の動水勾配と流速が大きく、溶存酸素濃度が高い場所は、傾斜のある淵尻の瀬頭に存在し、この場所には微生息場所スケールとしてはまり石が多く分布していた。侵食区は堆積区や移行区に比べて巨礫や岩盤が多く分布しており、はまり石は堆積区や移行区に多く分布していた。有意差は

ないものの、堆積区や移行区で産卵床が多く見られたということは、これらの区間スケール内にあるはまり石底が産卵場所として重要であると考えられる。繁殖場所の空間分布が、傾斜のある淵尻の瀬頭という場所に限定されている事実は、保全すべき生息場所の条件として、個々の環境要因だけでは表現できない生息場の配置も含めた空間構造が重要であることを示している。



**Fig. 18** Distribution of dissolved oxygen (mg/l) in hyporheic zone in the transitional reach. Data were based on the mean values measured on May 5, May 24, June 7, June 22 and July 9, 2003. Area, which enclosed with a red and yellow circle, shows spawning sites of freshwater goby and those of the mayfly, *Ephemera strigata*, respectively (after Takeimon et al. (2005)).

#### 4.3.2 稚仔魚の生息環境

石田ほか (2005) によると、カワヨシノボリの未成魚は堆積傾向区間の浅場の砂利や礫底を成育場所として利用している。さらに、本研究では稚仔魚は産卵床のあった周辺で見られ、とくに水深20cm以下で60%流速が10cm/sec以下の砂利や礫底を選好していた。これは稚魚が流れの緩やかな河岸寄りの場所で成長するという報告 (Mizuno, 1960) と一致している。キバラヨシノボリの稚仔魚は、水深40cm未満、流速5cm/sec以下の場所に多く生息することが知られている (四宮ら, 2005)。オイカワ、ウグイなどのコイ科魚類の後期仔魚も、岸辺の石や植物の間隙に形成される水際や流速2cm/sec未満の緩流部に出現する (水野ほか, 1958)。これらは淵や平瀬、河床基質周囲の緩流部に分布することで流下による減耗を防いでいると考えられる。カワヨシノボリは他のヨシノボリ属魚類と異なり、鱗条数は定数に達した後

期仔魚に近い形で孵化し、孵化直後から底生生活に入るが (水野, 1961)、本種も平瀬の緩流部に生息することによって流下を防いでいるものと思われる。成魚が大礫に生息するのに対し、主に砂利底に生息するのは、体サイズが小さいため砂利の間隙も隠れ場として利用できるためと考えられる。

小型の淡水魚は捕食者が存在する時、より浅い場所に移動する場合がある (Harvey & Stewart, 1991)。鞍馬川で考えられるカワヨシノボリの捕食者はドンコである。ドンコによる捕食回避の点からも、稚仔魚は浅い場所を選好したと考えられる。

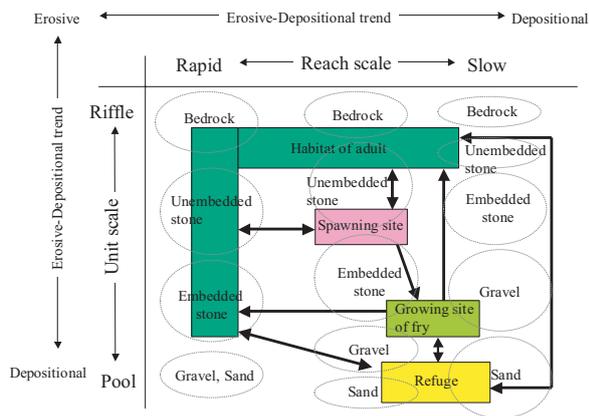
#### 4.4 区間を超えた移動の可能性

カワヨシノボリは、同時期の各区間でも生活史段階で選好する生息場所条件が異なった。また、同区間でも流量によって選好性が変化した。すなわち、繁殖期には産卵場として移行区の淵尻の瀬頭の流れの緩やかな礫底を利用し、その後孵化した稚仔魚の成育場所として比較的浅い平瀬の緩流部の砂利底を利用していた。また、侵食区は通常が生息場所としては利用できるが、増水時には堆積区や移行区の、より流れが緩い場所を避難場所とし、同一区間内だけで生活史を完結するのではなく、土砂堆積過程の異なる区間をまたがって移動していると考えられる。とくに、移行区や堆積区は産卵場所や成育場所として重要であったことから、河川環境の維持管理を考える際には、単にある区間だけを保全するのではなく、生物の生活史を完結するのに十分な生息場の連続した空間構造を対象とする必要性が示された。

#### 4.5 土砂堆積構造の階層的把握による生物の生息場評価法の提案

本研究より得られた鞍馬川の各空間スケールにおける土砂の侵食-堆積様式と、カワヨシノボリの生活史段階別の利用様式を Fig.19 に示す。単一の空間スケールを見るだけでは必要な生息場構造が明確にならず、各スケールの関連性を考慮することによって始めて、生活史を完結するのに必要な生息場構造の条件が示された。従来の PHABSIM では、一流量時の一河道区間における、ある生物の一生活史段階の生息場所条件しか表現することができなかった。本研究で行ったように、空間スケールの階層性を土砂堆積様式と関連させ、生息場構造の配置を明らかにすることによって、より現場の状態を表した PHABSIM がつくられると考えられる。

生物の生息場構造を土砂の堆積様式から把握することは、生物群集の多様な空間分布の解明や、生息場構造を維持する土砂管理にとって有効であると考えられる。とくに、本研究では土砂の侵食-堆積様



**Fig. 19** Relations of habitat utilization patterns of freshwater goby to the sediment depositional trend of the riverbed in combination of two different spatial scales in Kurama River.

式から生息場の構造的特性を示した。この手法はヨシノボリ類だけでなく、他の生物種についても同様に生息場構造を把握できると考えられる。よって、本手法を「侵食－堆積構造による生息場評価法 Habitat Evaluation Method Based on Erosive-Depositional Structure (HEMBEDS: 侵食堆積法)」と名付け、生息域生態評価法の一つとして提案する。この方法を用いると、生息場の条件として単に底質の状態だけが重要なのではなく、各底質がどのような配置で分布しているかが重要であることがわかる。この方法は、生息場構造の保全や再生を目的とする土砂管理における目標設定に利用できると期待される。

## 5. 結論

本研究では、土砂の堆積様式を空間的に把握することによって、カワヨシノボリの生息場構造として堆積傾向区間の中でも浮き石やあまり石が重要であり、これらの環境が形成されるように、必要に応じて土砂を供給・抑制する管理の方法が考えられた。このように、生息場の侵食－堆積傾向を生息場評価の視軸とするHEMBEDS(侵食堆積法)の考え方は、今後河川の生息場を動的に把握・評価するための基本的な考え方を提供するものである。保全対象とする生物の生息場を土砂挙動の点から評価することによって、対象河川に必要な土砂管理方法が明らかにできると期待される。

本研究では、異なる流量条件におけるカワヨシノボリの生息場所選好性の変化を野外調査によって示した。これらの結果をより一般化するには、流量変動に対する河床変動の数値シミュレーションや、実験水路を用いての水力実験などによって、いろいろ

な流量に対する生息場の変化を明らかにし、どの程度の出水や土砂供給によって生息場構造を形成・維持できるのかを解明することが今後の課題となる。

## 参考文献

- 石田裕子・竹門康弘・池淵周一 (2005) 河川の侵食-堆積傾向と流量変動による底生魚の生息場所選好性の変化. 京都大学防災研究所年報第48号B:935-943.
- 井上幹生・中野繁 (1994) : 小河川の物理的環境構造と魚類の微生息場所. 日本生態学会誌, 第44巻, pp.151-160.
- 太田太一・池淵周一・竹門康弘 (2002) : 河道における物理的環境と底生動物の挙動との関係. 京都大学防災研究所年報第45号, pp.719-733.
- 近藤晋司 (1997) : カワヨシノボリ (*Rhinogobius flumineus*) の餌選択性—特に微生息場所による差異について—. 奈良教育大学大学院修士論文.
- 四宮明彦・笹邊幸藏・櫻井真・岸野底 (2005) 奄美大島住用川におけるキバラヨシノボリ孵化仔魚の形態と仔稚魚の出現場所. 魚類学雑誌52 (1) : 1-8.
- 高橋剛一郎・竹門康弘 (1999) : 溪流生態砂防の新しいパラダイム. 太田猛彦・高橋剛一郎 (編) 溪流生態砂防学, pp. 117-130. 東京大学出版会, 東京.
- 竹門康弘 (1995) : 第1章 水域の棲み場所を考える. 竹門康弘・谷田一三・玉置昭夫・向井宏・川端善一郎 (編) 棲み場所の生態学, pp.11-66. 平凡社, 東京.
- 竹門康弘 (1997) 溪流における水生昆虫のすみ場所保全. 砂防学会誌50 : 52-60.
- 竹門康弘・石田裕子・谷田一三 (2003) : 淀川水系下流域におけるカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* とトウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR 縞鱗型の生息場所選択と摂餌生態. 木津川の総合研究, pp.517-527. 河川生態学術研究会木津川研究グループ.
- 竹門康弘・田中武志・山田浩之・池淵周一 (2005) : 間隙動物の生息場所に適した砂州内環境の実験的研究. 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp.945-962.
- 田代喬・伊藤壮志・辻本哲郎 (2002) : 生活史における時間的連続性に着目した魚類生息場の評価. 河川技術論文集, 第8巻, pp.277-282.
- 玉井信行 (2004) : 河川計画論. 東京大学出版会, 東京.
- 知花武佳・玉井信行 (2002) : 生息域の季節変動に着目した魚類生息域適性基準に関する研究. 水工学論文集, 第46巻, pp.1145-1150.
- 永田靖・吉田道弘 (1997) : 統計的多重比較法の基礎. サイエンティスト社, 東京.
- 長谷川和義 (1988) : 山地河川の形態と流れ. 水工学シリーズ97-A-9, 土木学会水理委員会, pp.1-20.

- 水野信彦 (1961) ヨシノボリの研究— . 生活史の比較. 日本水産学会誌 27 : 6-11.
- 水野信彦 (1981) : ヨシノボリ学入門. 淡水魚, (7), pp.7-13. 淡水魚保護協会, 大阪.
- 水野信彦 (1989) : カワヨシノボリ. 川那部浩哉・水野信彦 (編) 日本の淡水魚. 山と溪谷社, pp.600-601.
- 水野信彦・川那部浩哉・宮地伝三郎・森主一・児玉浩憲・大串竜一・日下部有信・古屋八重子 (1958) 川の魚の生活. . コイ科4種の生活史を中心に. 京都大学理学部, 生理生態学研究業績 81 : 1-48.
- 渡辺恵三・中村太士・加村邦茂・山田浩之・渡辺康玄・土屋進 (2001) : 河川改修が底生魚類の分布と生息場環境におよぼす影響. 応用生態工学, 第4巻, 2号, pp.133-146.
- Bain, M.B., J.T. Finn & H.E. Bookey. (1985) Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. N. Am. J. Fish. Manage., 5:499-506.
- Bovee, K. D., Lamb, B.L., Bartholow, J. M., Stalnaker, C. B., Taylor, J., & Henriksen, J. (1998): Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology. U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-0004.
- Frissell, C. A., Liss, W. J., Warren, C. E. & Hurley, M. D. (1986): A hierarchical framework for stream habitat classification-Viewing streams in a watershed context. Environmental Management, Vol. 10, No. 2, pp.199-214.
- Harvey, B.C. & A.J. Stewart(1991): Fish size and habitat depth relationships in headwater streams. Oecologia 87: 336-342.
- Katano, O. (1990): Dynamic relationships between the dominance of male dark chub, *Zacco temminckii*, and their acquisition of females. Animal Behaviour, 40, pp.1018-1034.
- Kitano, S. & Shimazaki, K. (1995): Spawning habitat and nest depth of female Dolly Varden *Salvelinus malma* of different body size. Fisheries Science, 61(5), pp.776-779.
- Mizuno, N. (1960) : Study on a freshwater goby, *Rhinogobius similis* GILL, with a proposition on the relationships between landlocking and speciation of some freshwater gobies in Japan. Mem. Col. Sci. Univ. Kyoto, Ser., B27, pp.97-115.
- Sone, S., Inoue, M. & Yanagisawa, Y. (2001): Habitat use and diet of two stream gobies of the genus *Rhinogobius* in south-western Shikoku Japan. Ecological Research, 16, pp.205-219.
- Takahashi, D. & Yanagisawa, Y. (1999): Breeding ecology of an amphidromous goby of the genus *Rhinogobius*. Ichthyological Research., 46: 185-191.

## Habitat evaluation for benthic fish based on sediment depositional patterns

Yuko ISHIDA\*, Yasuhiro TAKEMON and Shuichi IKEBUCHI

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

### Synopsis

Variations in habitat preference of benthic fish, *Rhinogobius flumineus*, were investigated in relation to erosive-depositional patterns of riverbed structure in the Kurama River in Kyoto City. Influence of life stages and flow regimes on the habitat preference were analyzed. The adult fish used a embedded stone for the spawning beds at limited sites in "pool tail and riffle head" in transitional reaches. While, juvenile inhabited on gravel bed in slow current parts of depositional reaches. Habitat structure required for the fish could be comprehensively grasped by plotting the habitat preference for each life stage in erosive-depositional patterns of substrate with multiple spatial scales. This method "Habitat Evaluation Method Based on Erosive-Depositional Structure (HEMBEDS)" will be applicable to evaluate any sediment control management for conservation and restoration of river ecosystems.

**Keywords :** habitat evaluation, erosive-depositional structure, multiple spatial scale, habitat preference, *Rhinogobius flumineus*