

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

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

近年、河川における魚類の定量的な生息場評価法として、PHABSIM が実用化されてきているが、従来の PHABSIM に用いる選好曲線は、魚類の生息場所要求に対応した環境の構造的性を十分に反映できていないという問題点がある。この課題を解決するには、生活史ステージによる選好性の違いを明らかにするとともに、流量や流量の違いによる選好性の変化を明らかにする必要がある。そこで本研究では、侵食 - 堆積傾向の違う砂防堰堤の上流域を調査地を選び、区間や流量の違いによるカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* の成魚と稚魚の各環境条件に対する生息場所選好性を比較分析した。増水時には、成魚・稚魚ともに侵食区から逸出し、流れの緩やかな深場の礫や砂利を選好した。平水時には、稚魚は流れのある浅場の砂利底や礫底を選好していたが、成魚は瀬の礫底と淵の岩盤に選好性が分かれた。とくに、繁殖期の成熟オスは、移行区の「淵尻の瀬頭」とよばれる礫の浅場に営巣していた。本研究の結果、カワヨシノボリの成魚と稚魚は、セグメントスケールでの分布様式とリーチスケールでの生息場所選好性を、流量の状態に応じて変化させることがわかった。

キーワード：生息場所選択、侵食 - 堆積過程、階層性、PHABSIM、カワヨシノボリ

1. はじめに

近年、河川に生息する生物の生息環境に配慮した河川管理が進められるようになってきたが、生息環境をどのように把握し、どのように保全していくかについては、多くの課題が残されている。このような背景のもとで、河川における魚類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、その枠組みの中で、様々な魚種について PHABSIM(Physical HABitat SIMulation model) (アメリカ合衆国内務省ら、1999) が提案されている。本手法は、魚類の

生息域を水深、流速、底質といった各物理環境指標に対する魚類の適性基準を設けて定量的に評価できるという特徴があり、日本国内の既往の研究においても実例が追認されてきた(小出水ら、2000)。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、ある一時期の(たとえば成魚の定位場所の)選好曲線をすべての時期に適用している点、ある堆積過程を示す河道区間の選好曲線を他の区間にも適用している点など、魚類の生息場所要求を十分に反映できていないという問題がある。こういった問題点を解消するために、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。

河川的环境特性は，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。魚類の分布や生息環境を制限する要因は，このような空間スケールによって異なることが知られている（井上・中野，1994；渡辺ら，2001）。したがって，河川に魚類の生息場所を維持管理する視点からは，土砂の侵食 - 堆積過程と対応させ，河川構造の空間スケールの階層性と各スケール間の関連性に着目して行うことが有効であると考えられる。

そこで本研究は，侵食 - 堆積傾向の違う砂防堰堤の上流域を調査地を選び，区間や流量の違いによるカワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus* (Mizuno, 1960；Photo. 1) の成魚と稚魚の各環境条件に対する生息場所選好性を比較分析した。

本研究の対象とした底生魚類のカワヨシノボリは，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，海へは下らずに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が非常に狭く，1 時間の行動圏が $0.04m^2$ 以内という報告もある（近藤，1997）。よって，遊泳魚に比べ，河川の物理環境と生物生態の関係を考察するには好適な材料であると考えられる。



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

2. 研究方法

2.1 現地調査

調査は京都市北部の淀川水系鞍馬川（Fig. 1）で，2004 年の平水時（初夏： $0.15m^3/sec$ ，夏： $0.10m^3/sec$ ）と増水時（秋： $0.41m^3/sec$ ）に実施した。砂防堰堤の直上流の堆積卓越区間（平均勾配 1/100），背水が増水時にのみ波及する移行区間（勾配 12/100），背水の影響がない侵食卓越区間（勾配 13/100）の 3 区間（Photo. 2）で，河道内の地形，60 %水深流速，水深，底質粗度（Bain et al. (1985) を改変），開空度，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稚魚と分類した。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。

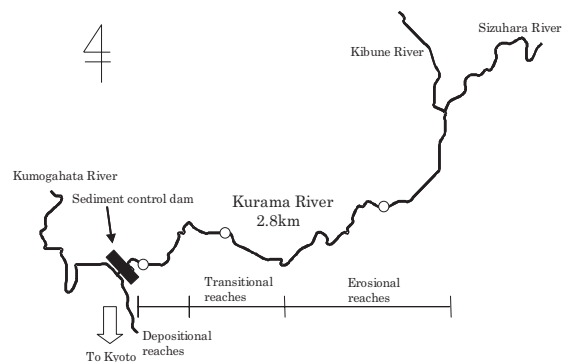


Fig. 1 A map of study area in Kurama River. Open circles show study sites.

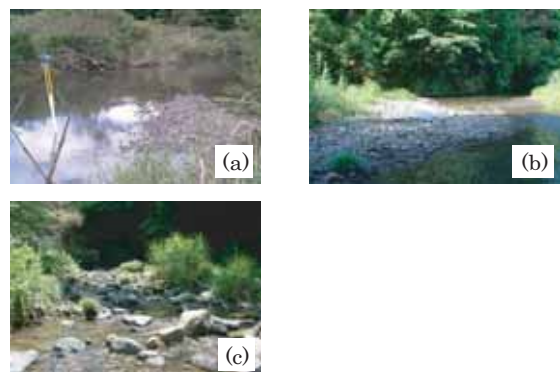


Photo 2 Pictures of study reaches. (a) Depositional reach, (b) Transitional reach and (c) Erosional reach

2.2 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 B_i とする。次に、成魚と稚魚に区別した上で、 B_i と同じ値の魚の生息場所数を S_i とし、 $SI=S_i/B_i$ 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。各指標への選好性は独立ではないが、個別に考慮することによって様々な指標の組み合わせの条件での生息特性を合理的に評価できるのがポイントである。また、 SI をグラフ化したものを選好曲線とよぶ。

各セルの SI を掛け合わせたものを合成適性値 (composite suitability index: CSI) として算出し、 $CSI=1$ (最適)、 $1>CSI>0$ (利用可能)、 $CSI=0$ (不適) とランク分けした。この CSI が高いほどその場所が生息に適していると判定される。今回は、PHABSIM で一般的に用いられる水深、底質、60% 水深流速について選好性をそれぞれ算出し、 CSI を求めた。

各河道区間における CSI の平面分布図の作成および面積の算出には、ArcView GIS Ver.3.2a (Environmental Systems Research Institute Inc., 1996) を用いた。

3. 結果

3.1 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、稚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、稚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, 侵食区と堆積区: $P<0.01$, Scheffe's F test)。

3.2 各物理環境要因に対する選好性

(1) 水深に対する選好性

各区間の水深の分布と、それに対する選好性を Fig. 2 に示す。

平水期には、侵食区は他の 2 区間に比べて全体的に浅い環境だった。この時期、稚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。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。とくに、移行区の「湍尻の瀬頭」と呼ばれる浅いところに生息しているのは繁殖に参加すると見られる成熟魚であった (Fig. 3)。侵食区の成魚は浅場を選好していた。

増水期になると、いずれの区間も浅場が減少した。この時期は、稚魚は深場へ、成魚は浅場へと生息場所を移動させた。また、成魚、稚魚ともに侵食区からは逸出した。

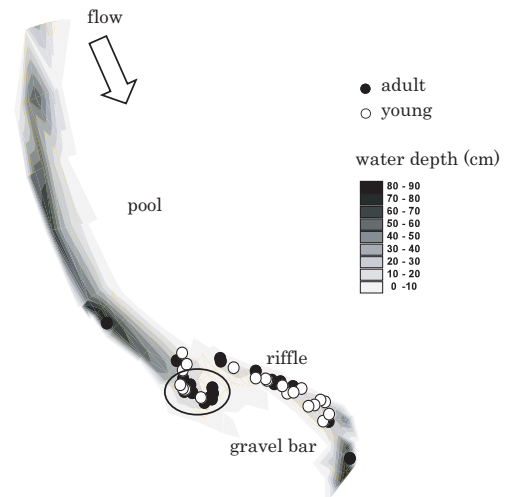


Fig. 3 Distribution patterns of water depth and freshwater goby on transitional reach in early summer. Matured adult inhabited "pool tail and riffle head" enclosed in ellipse.

(2) 底質に対する選好性

各区間の底質の分布と、それに対する選好性を Fig. 4 に示す。

平水期には、堆積区では砂利底が、移行区と侵食区では礫底が優占して分布していた。この時期は、稚魚は砂利や礫を選好していた。生息に適した礫や砂利の底質があるにも関わらず、初夏の侵食区に稚魚は見られなかった。成魚は主に礫を選好していた。しかし、堆積区において、生息に適した礫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た。稚魚は砂底から礫底まで広い範囲に生息していたが、成魚も細かい底質にも生息するようになった。

(3) 流速に対する選好性

各区間の流速の分布と、それに対する選好性を Fig. 5 に示す。

平水期、増水期に関わらず、いずれの区間も $0.23m/sec$ 以下の緩やかな流速の場所が広く分布していた。

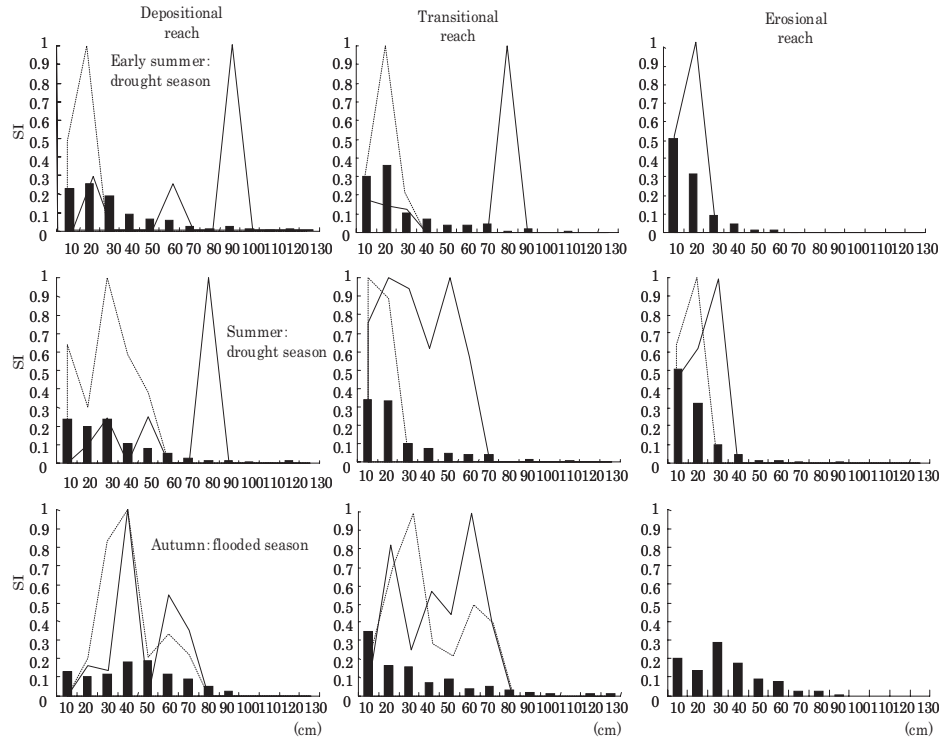


Fig. 2 Preference curves of water depth. Bars show appearance of each categorized data on all data. Solid line shows SI of adult, and the other broken line is young's.

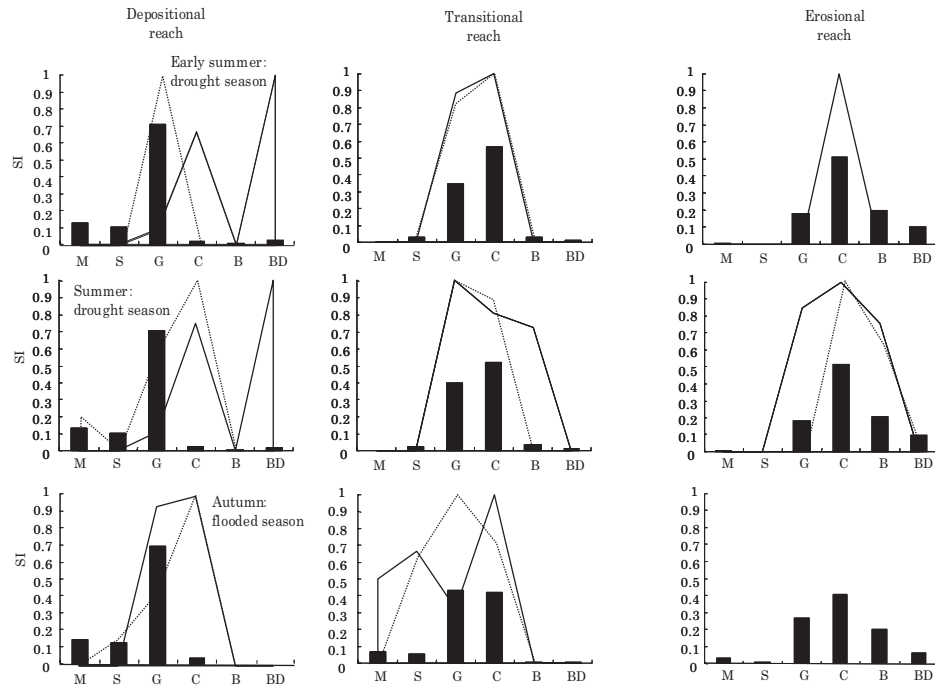


Fig. 4 Preference curves of substrate. Bars show appearance of each categorized data on all data. Solid line shows SI of adult, and the other broken line is young's. (M) mud, (S) sand, (G) gravel, (C) cobble, (B) boulder, and (BD) bedrock

平水期には、稚魚は比較的流れのはや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。成魚は稚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。

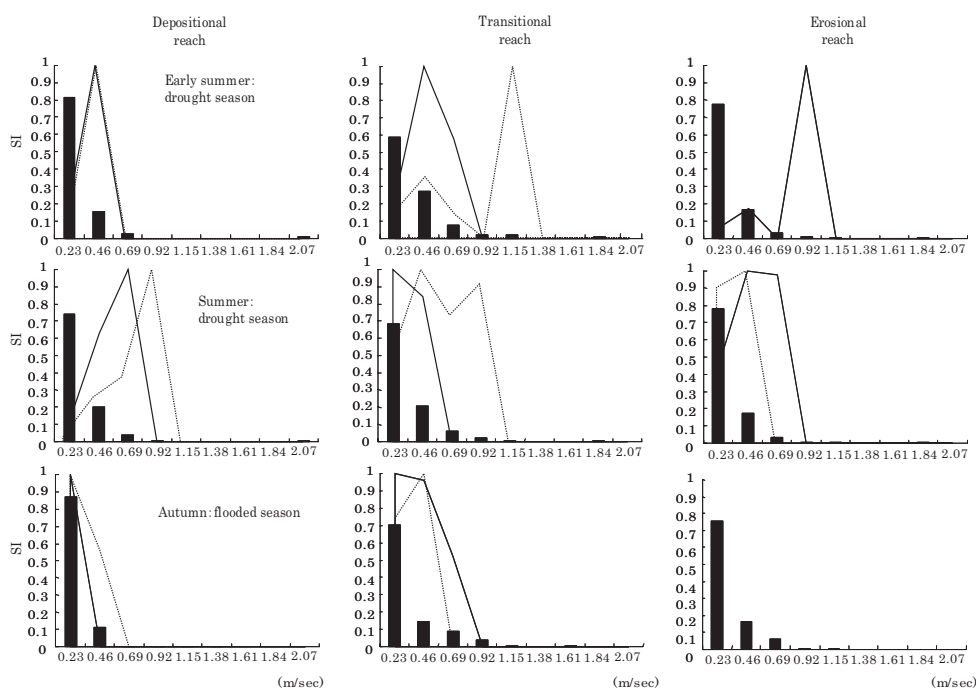


Fig. 5 Preference curves of water velocity. Bars show appearance of each categorized data on all data. Solid line shows SI of adult, and the other broken line is young's.

3.3 CSIによる生息場所の評価

(1) 堆積区

堆積区の成魚と稚魚の分布，およびそれぞれのCSIにより判定された生息適地の分布図をFig. 6に示す。

平水期には，成魚にとって生息に適した場所がほとんど存在せず，成魚は不適と判定された場所に生息していた。稚魚は，初夏には利用可能と判定された場所に生息していた。夏になると，生息適地は減少したが，利用可能な場所とその周辺に生息していた。

増水期になると，区間内の生息可能な空間は広がった。成魚と稚魚の分布域も広がり，CSIの高い場所に生息していた。

(2) 移行区

移行区の成魚と稚魚の分布，およびそれぞれのCSIにより判定された生息適地の分布図をFig. 7に示す。

平水期には，生息に適している場所は瀬に多かったものの，淵にも存在した。しかしながら，成魚，稚魚ともに瀬を中心とした場所に生息していた。とくに，初夏の成熟個体は「淵尻の瀬頭」とよばれる礫の浅場に営巣していた。

増水期になると，CSIの高い場所は瀬よりも淵の方に分布するようになった。この時期は成魚，稚魚ともに平水期に比べて広い範囲に分布するように

なった。その中でも，稚魚と瀬の成魚は岸際に多く生息していた。

(3) 侵食区

侵食区の成魚と稚魚の分布，およびそれぞれのCSIにより判定された生息適地の分布図をFig. 8に示す。侵食区では，平水期の初夏には稚魚が，増水期の秋には成魚と稚魚の両方が確認されなかったため，ここでは初夏の成魚と夏の成魚，稚魚についての分布図を示した。

初夏，夏ともに区間内における生息適地は広く分布し，成魚と稚魚のどちらも広い範囲に生息していた。

4. 考察

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，以下のように選好性が分かれた。

- 増水時：成魚・稚魚→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：稚魚→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）

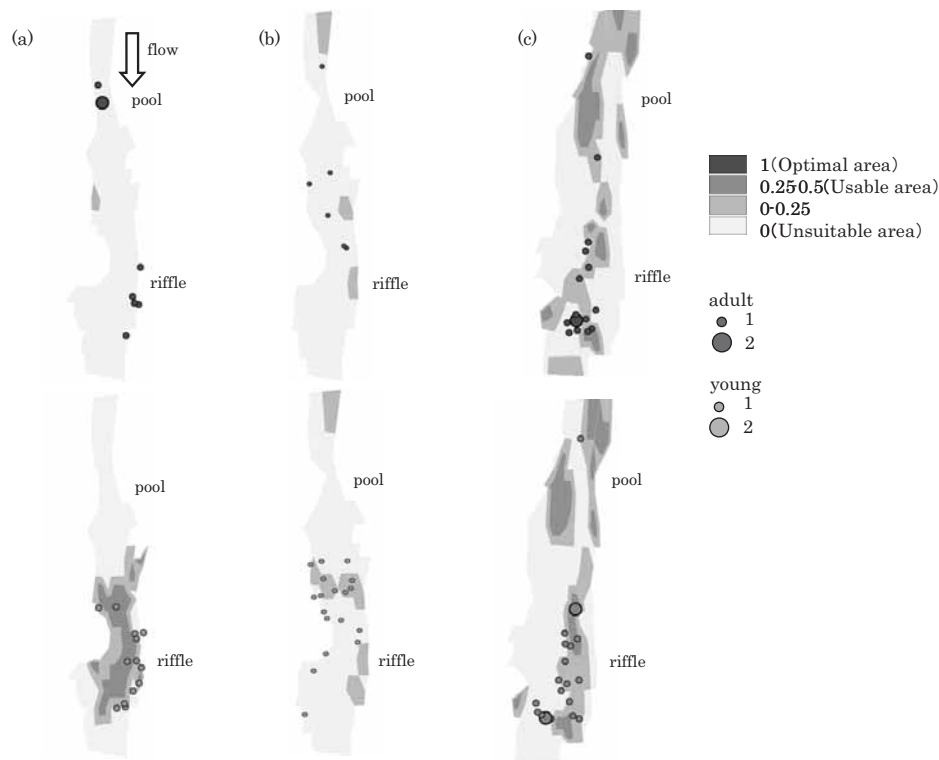


Fig. 6 Distribution patterns of *Rhinogobius* fish and habitat suitability area on depositional reach in each season. (a) early summer, (b) summer and (c) autumn

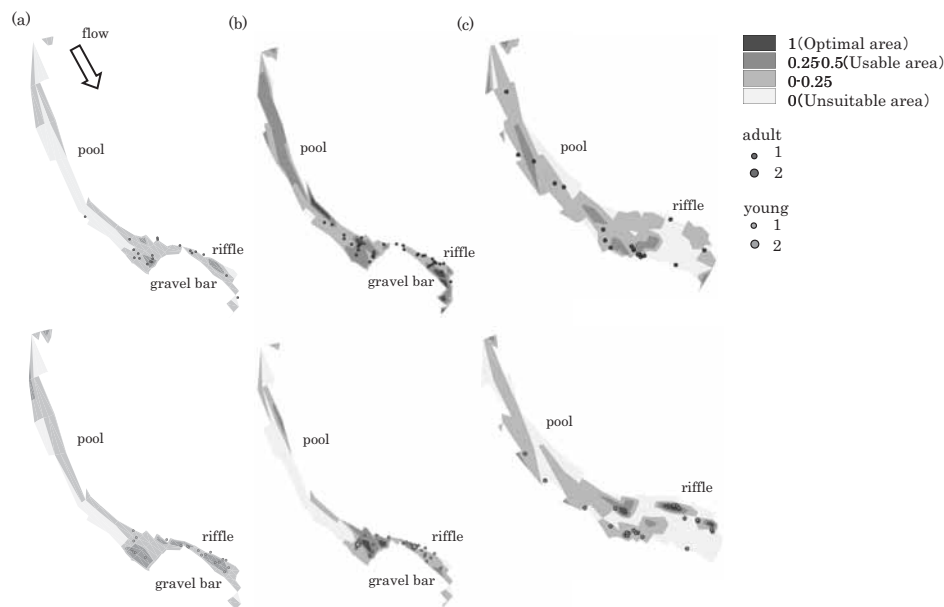


Fig. 7 Distribution patterns of *Rhinogobius* fish and habitat suitability area on transitional reach in each season. (a) early summer, (b) summer and (c) autumn

4.1 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: $n=4$, $9.95 \pm 3.19\text{cm}$, 移行区: $n=5$, $29.44 \pm 28.25\text{cm}$) 礫底に営巣していた。とくに、移行区では、砂礫堆上流端に位置する「淵尻の瀬頭」とよばれる淵から瀬への移行部に成

熟個体がいた。一般的に、イwanaやアマゴなどのサケ科魚類やカワムツなどのコイ科魚類でも淵尻の瀬頭に産卵することが知られている (e.g. Kitano and Shimazaki, 1995; Katano, 1990)。魚類だけでなく、カゲロウ目やカワゲラ目、トンボ目など多くの水生昆虫でも、瀬の上流端で産卵する現象が認めら

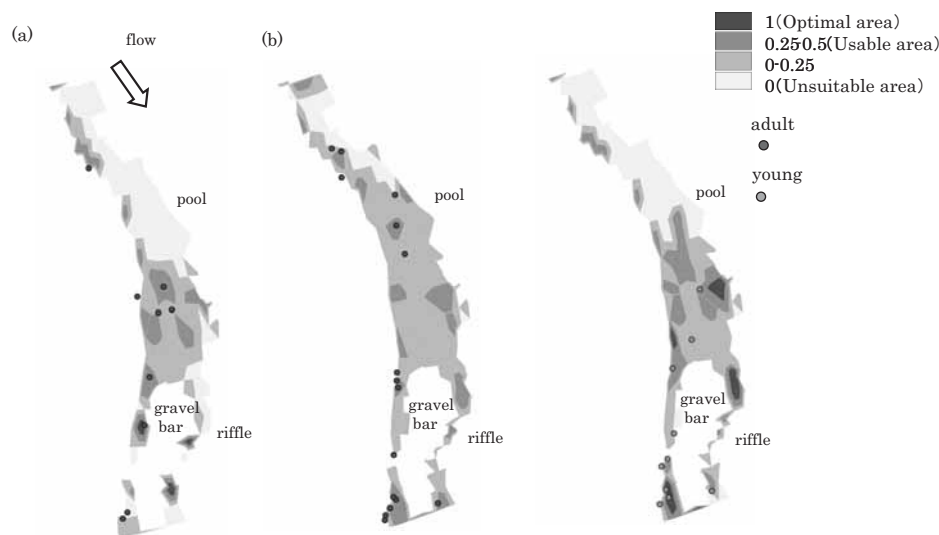


Fig. 8 Distribution patterns of *Rhinogobius* fish and habitat suitability area on erosional reach in each season. (a) early summer, (b) summer and (c) autumn

れる（竹門，1997）。とくに，調査を行った移行区の淵尻の瀬頭では，砂礫堆内の間隙水の流速が大きく，溶存酸素濃度が高く，モンカゲロウ *Ephemera strigata* が多数産卵していた（田中，2005）。カワヨシノボリは礫の裏側に卵を産み付け，オスが胸鰭をホバリングさせることによって卵に酸素を供給し，孵化まで保護するという産卵生態をとる。溶存酸素濃度が高いと，ホバリングの労力が減り，オスが卵を保護しやすいということもあるかもしれない。

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。堆積区の生息適地（Fig. 6(a)）を見ると，成魚にとって利用可能な場所はごく一部にしか存在しない。この区間は砂利や砂などの細かい底質が多く，産卵に適した礫がほとんどなかった。そのため，成魚は生息できたとしても，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，堆積区の成魚は礫の他に岩盤にも生息していた。堆積区には礫がほとんどなかったため，礫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。底生性のハナカジカでは，河床に存在する巨礫や浮き石によって創出された空隙が，産卵環境としてだけでなく，捕食者や強い水流からの避難場所として利用可能なカバー機能をもつと考えられる（渡辺ら，2001）。カワヨシノボリにとっても，礫は産卵場や餌生物の生息場（竹門ら，2003）であるだけでなく，捕食者を回避するシェルターとしての役割ももっていると考えられ，通常岩盤に生息するとは考えにくい。今回カワヨシノボリが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，礫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。

稚魚は成魚に比べて，瀬に生息する傾向が強かった。そして，礫底だけでなく砂利底にも生息していた。とくに，初夏の堆積区では砂利底にのみ生息していたが，これは砂利を選好したというよりは，たまたまそこに広く分布していた底質に生息していたと考えられる。この時期の稚魚は全長 1.0～1.5cm であり，3cm ほどの砂利の隙間にも隠れることができる。よって，砂利底も稚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。

初夏の侵食区には，稚魚が生息していなかった。この時期の堆積区と移行区の稚魚の CSI を用いて侵食区の生息適地を判定した結果，分布に違いは見られたものの，利用可能な場所は存在した（Fig. 9）。それにもかかわらず稚魚が生息していなかったということは，今回 CSI の算出に用いた，水深，底質，流速以外の物理環境が原因している可能性がある。

4.2 増水時における生息場所利用様式

増水時には，成魚，稚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： 39.43 ± 11.90 cm，移行区： 25.03 ± 17.15 cm）。調査を行った数日前には台風 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増えた。稚魚だ

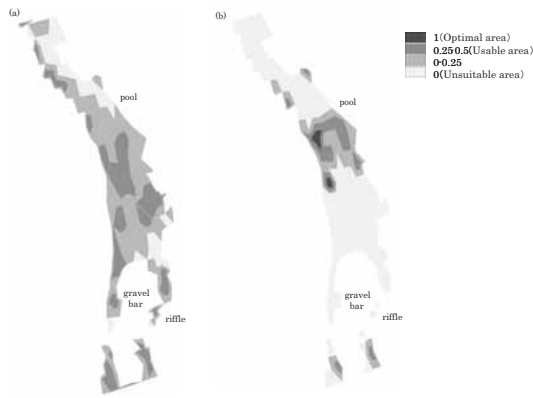


Fig. 9 Distribution patterns of habitat suitability area in erosional reach with CSI of young fish in transitional and depositional reaches. (a) case of transitional CSI, (b) case of depositional CSI

けでなく成魚の底質に対する選好性が泥や砂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。稚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、成魚と稚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 (Fig. 7(c))。

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。この区間の水深、底質、流速の各環境は、他の2区間に比べても生息できないものとは考えにくい。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。ピーク時に比べると、調査時においては流量は減少していたが、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。

4.3 区間を越えた移動の可能性

カワヨシノボリは、同時期の各区間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を利用し、その後孵化した稚魚が堆積区や移行区の浅い砂利底を成育場所として利用する。また、侵食区は通常の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連続した空間構造を対象とする必要があるだろう。

5. 結論

本研究の結果、カワヨシノボリの生息場所選好性は、成魚と稚魚という成長段階により異なることがわかった。また、土砂の侵食・堆積過程や、平水時、増水時といった流量の変化など、その場の環境特性に応じて変化することがわかった。その変化は、繁殖期は移行区の瀬の礫底を産卵場所として利用し、稚魚の成育期は堆積区の淵や瀬の砂利底や砂底を成育場所として利用する底生魚の生活史を反映していると考えられる。

今後は1年を通して、流量の変化によって河道区間内の環境がどう変化していくか、また、それに伴いカワヨシノボリの生息場所選好性がどう変化するかを調べ、どういった流量操作をすれば河川性生物の生息場所を維持できるかについて検討していく必要があると思われる。

参考文献

- アメリカ合衆国内務省・国立生物研究所 (テリーワドル・中村俊六訳) (1999): IFIM 入門. 財団法人リバーフロント整備センター, pp.145-150.
- 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 44, pp.151-160.
- 小出水規行・藪木昭彦・中村俊六 (2000): IFIM/PHABSIM による河川魚類生息環境評価 - 豊川を例にして -. 河川技術に関する論文集 6, pp.155-160.
- 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.
- 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, pp.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.

- 田中武志 (2005): 溪流における砂礫堆構造の生息場所機能に関する研究, 京都大学大学院修士論文.
- 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 8, pp.277-282.
- 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 46, pp.1145-1150.
- 長谷川和義 (1988): 山地河川の形態と流れ. 水工学シリーズ, 88-A-8.
- 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.
- 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 4 (2), pp.133-146.
- Bain, M.B., J.T. Finn and H.E. Booke. (1985): Quantifying stream substrate for habitat analysis studies. N. Am. J. Fish. Manage., 5, pp.499-506.
- Environmental Systems Research Institute, Inc. (1996): ArcView GIS Ver.3.2a. Environmental Systems Research Institute, Inc., California, USA.
- Katano, O. (1990): Dynamic relationships between the dominance of male dark chub, *Zacco temminckii*, and their acquisition of females. Anim. Behav., 40, pp.1018-1034.
- Kitano, S. and Shimazaki, K. (1995): Spawning habitat and nest depth of female Dolly Varden *Salvelinus malma* of different body size. Fisheries Sciences, 61, 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.

Differences in habitat preference of benthic fish among erosional-depositional reaches under different flow regimes

Yuko ISHIDA*, Yasuhiro TAKEMON and Shuichi IKEBUCHI

* Graduate School of Engineering, Kyoto University

Synopsis

Habitat evaluation methods such as IFIM and PHABSIM based on single habitat suitability index are not always reflect habitat structure required for completing fish life cycle. Variations in habitat preference of freshwater goby, *Rhinogobius flumineus* were investigated in erosional and depositional reaches in Kamo River, Kyoto, Japan under different flow regimes. Under high flow conditions in autumn, both adult and young fish disappeared from the erosional reach and showed habitat preference to cobble and pebble bed in pools in the depositional and transitional reaches. Under low flow conditions in early- and mid-summer, in contrast, young fish preferred pebble and cobble beds in riffles, whereas, adult fish preferred cobble of riffle and bedrock of pool. Matured male in early summer exclusively nested at cobble bed in the shallow area located at "pool tail and riffle head". These results showed that segment scale distribution and reach scale habitat preference of both young and adult fish of *Rhinogobius flumineus* changed with flow conditions.

Keywords : habitat preference, erosional-depositional reaches, spatial scale, PHABSIM, *Rhinogobius flumineus*