

特集：水域生態系の保全・再生

魚類と甲殻類による石の隙間の季節利用

佐川志朗* 萱場祐一** 大森徹治***

1. はじめに

河床や河岸を構成する石礫によって形成される隙間（以下、間隙）は、様々な魚類の生息場所として機能している。例えば、サケ科魚類の稚魚や成魚は冬季に昼間の隠れ場所として間隙を利用し¹⁾、河道の巨礫の密度が大きいと生息個体数も多くなる²⁾。また、底生魚類であるカジカ科魚類やドジョウ科魚類は各成長段階で利用する石礫サイズが異なる³⁾。我が国では希少種であるネコギギやアカザの研究がみられ、前者には礫のサイズや形状が定着選択性に寄与する⁴⁾。しかし、以上の既存研究は、ある特定種に着目しており、生物群集を対象とした研究は行われていない。このため、多自然川づくりにおいて河岸を評価し、適切な河岸処理を行うための基礎的な知見は不足している。

本研究では、間隙の生息場所としての機能を明らかにするため、粒径の異なる3タイプの礫群を実験河川に設置し、河川中流域に生息する魚類、甲殻類の生息実態の季節利用の差異や定着に寄与している物理環境要因の抽出を試みた。なお、実験に際しては、間隙内すべての魚類と甲殻類を捕獲するための手法を導入し、定量評価を試みた。



写真-1 捕獲が困難な間隙に潜む魚類

た。両河川は1998年より継続通水している。両河川の延長は800mを有し、河道の形状は全く同じである。流量は配水池からバルブおよびゲートで調整流出させており、維持流量は0.1m³/sとしている。両河川は自然河川である木曾川水系新境川に落差なく流入しており、上流端ゲートまで魚介類の自由な遡上降下が可能であり、木曾川と同様の水生生物相を有している。また、B、C河川の生物群集構造は概ね類似している。実験河川は100-180mからなる5つの区間に区分されているが、本研究は延長110mの中流区間を用いて行った（写真-2）。両河川とも河床勾配は0.125%、水面幅が約3.7m、河床材料は砂が優占する。本区間は本川と連結するワンドを有するが、連結部を仕切り、単断面直線河道とした。



写真-2 調査区間（中央：河川B、右：河川C）

2.2 調査時期

調査は2007年から2008年にかけての夏季（7-9月）と冬季（11-1月）の期間中に計3度実施した（表-1）。

表-1 調査時期

実験No.	季節	調査区	ユニット設置日	生物調査日
実験1	夏	B(9)	7/25	8/21
実験2	夏	C(9)	9/6	9/19
実験3	冬	B(9)	11/9	1/22

()内は調査ユニット数

2. 材料と方法

2.1 調査地

調査は、岐阜県の土木研究所自然共生研究センターの研究施設である実験河川BおよびCで行っ

2.3 調査ユニットの設定と物理条件

各河川の下流端から10mごとの右岸側に幅1.6m、長さ2.0mの石礫群設置区を各河川9箇所設けた（写真-2）。使用礫はすべて天然石とし、

すべての礫にアンカーを打ち込んでワイヤーで連結したものを礫群とした。礫群はD₅₀で100mm、200mmおよび350mmについてそれぞれ作成した。各実験では、各礫サイズ群をランダムに3箇所、河床から0.8mの高さまで設置した。設置区にはまず3m四方5mm目合いのネットを敷いて、その上に重機を用いて礫群を設置した(写真-3)。また、礫を設置しない区間(以下、礫なし)も3箇所設け、ネットのみを設置した。実験時の設定流量は、自然流況を勘案して、夏に多く冬に少なくした。ユニット設置後の設置区の流速や水深等の物理条件には、表-2に示すとおりである。



写真-3 礫群設置方法

表-2 調査時の物理条件(最小値-最大値)

	実験1 (夏)	実験2 (夏)	実験3 (冬)
流量(m ³ /s)	0.2	0.2	0.05
使用礫サイズ(mm)	100, 200, 350		
間隙内流速(cm/s)	4-7	5-9	4-8
間隙内相対照度(%)	1-17	1-8	1-3
河道水深(cm)	29-39	29-34	13-19
河道流速(cm/s)	20-38	29-43	11-23
間隙率(%)	51-65	50-63	57-66

2.4 水生生物調査方法

礫群設置後、2週間以上経過してから水生生物の捕獲を実施した。まず、すべての設置区において河床に設置したネットの端を水面上に引き上げ、礫群と生息魚類を取り囲んだ後、さらにそれを取り囲むように仕切り網を設置した。次に、重機で礫群を引き上げ除いて、ネットを回収し、ネット内の生物をすべて捕獲した。さらに、仕切り網内はエレクトリックショッカーにより採捕した。採捕した魚類は種類の同定と計数を行った。

2.5 物理環境調査方法

設置区および河道区(設置区以外の河道部:設置区に接する流心から左岸側河道部)において物

理環境を計測した。設置区および河道区を含めて全水面幅にトランセクトを等間隔に3本設定した。設置区では各トランセクト上に等間隔の3箇所において、水面から5cmおよび15cmの水深において流速および水中照度の計測を行った(18測点/設置区)。河道区では3トランセクト上に20cm間隔で複数点の測点を設け(30-38測点/河道区)、水深および60%水深流速の計測を行った。すべての計測は、魚類調査の1週間前に行った。

2.6 データ解析

取得したデータから、各種の生息密度(個体数/m²)および各物理環境の各設置区および河道区の平均値(礫径、間隙内流速、間隙内の相対照度、河道水深、河道流速)を算出した(表-2)。また、各設置区の間隙率を以下の式より算出した。

$$\text{間隙率}(n) = V_v / V * 100\%$$

V(全体積)は、各設置区に設置された礫群の体積であり、スタッフを用いて現地実測により設置幅、設置長、設置高を計測し算出した。V_v(間隙体積)は全体積から礫体積V_sと金属体積V_mを引いたものであり(V_v=V-V_s-V_m)、V_sはW_s(礫重量)/SG_s(礫比重)、V_mはW_m(金属重量)/SG_m(鉄比重7.9)により求めた。

解析には、説明変数を算出した6物理因子(表-2)、応答変数を各魚種の確認数として、確率分布にポアソン分布、リンク関数にLogを前提とした一般化線形混合モデル(GLMM: 個体差、場所差、観測日差などの変量効果を考慮した統計モデル)と一般化線形モデル(GLM)を適用した⁵⁾。前者には夏季のデータを用いて、実験をランダム要因とした。後者には冬季のデータを用い、物理因子は共線性を回避して4因子を用いた。また、各種の定着を最も良く説明するモデルを求めるために、説明変数のすべての組み合わせでモデルを構築し、AIC(Akaike's information criterion)値が最小のベストモデルを抽出した。統計ソフトはRを用い、GLMMはlmerパッケージを用いた。なお、計算でエラーが出た種は結果記載から省いた。さらに各因子のモデルに対する相対的な寄与度を数値化するためにIOV(relative Importance Of Variable)を算出した。IOV値は0-1の値を示し、大きいほどその因子のモデルに対する寄与度が大きいことを示す。なお本論では、IOV値にモデルで得られた推定パラメータの正負を乗じた値をグ

*土木用語解説: 一般化線形モデル

ラフ化した。これによってその因子が正に寄与しているのか負に寄与しているのかを判断できる。

3. 結果

3.1 各実験により確認された水生生物

間隙利用種として、魚類が13種、甲殻類が2種確認された(図-1)。この内10種は、間隙固有種であった(図-1の*で示す)。グラフには1999年から2001年にかけての夏と冬にB、C河川全域で調査した既往の魚類の生息密度調査の結果(平均生息密度)を参考に表示した。設置区の生息密度は礫なし区間、既往値と比べて大きかった。特に魚類生息密度が低下する冬季においても実験3の生息密度は非常に大きかった。各実験における優占種を見ると、甲殻類は、設置区のみで確認されており、特に夏季にモクズガニの生息密度が高かった。魚類も設置区で多く、実験1ではフナ属の、実験2ではヨシノボリ属とシマドジョウ属、実験3ではタモロコの生息密度が高かった。

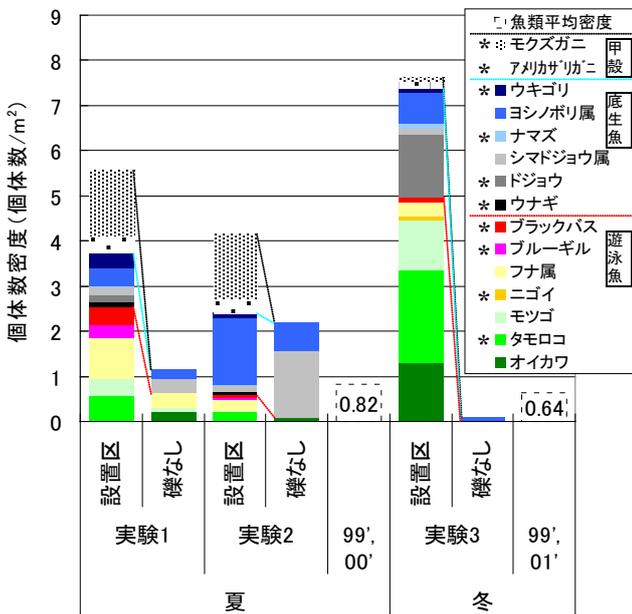


図-1 個体数密度

3.2 各種のベストモデルの寄与因子とIOV値

解析の結果、実測値とベストモデルの予測値の関係は概ね良く、参考に行ったWald検定の結果では、夏季のアメリカザリガニ、冬季のニゴイおよびヨシノボリ属以外は有意な(P<0.05)モデルが構築された。総括図を図-2に示す。例えば、夏季のモクズガニでは、ベストモデルに選定された因子は、間隙内流速と礫径と河道流速であり、

IOV絶対値の大きい礫径が、モデルの説明に最も寄与している。また、間隙内流速の推定パラメータは正、礫径および河道流速のそれは負であることから、本モデルは、間隙内流速が大きいほど、礫径が小さいほど、河道流速が小さいほど、個体数密度が増加することを示している。夏季のタモロコは、河道流速が大きく、暗い環境で生息密度が高くなると解釈できる。このように見ると、寄与因子とIOV値は、種ごとに、季節ごとに異なることが理解できる。魚類のうち遊泳魚に共通した傾向として、河道水深もしくは河道流速が因子として選定され、夏季には正の値を示すのに対して、冬季には負に転じることがわかる。また冬季には、多くの種で間隙率や礫径が因子に選定された。

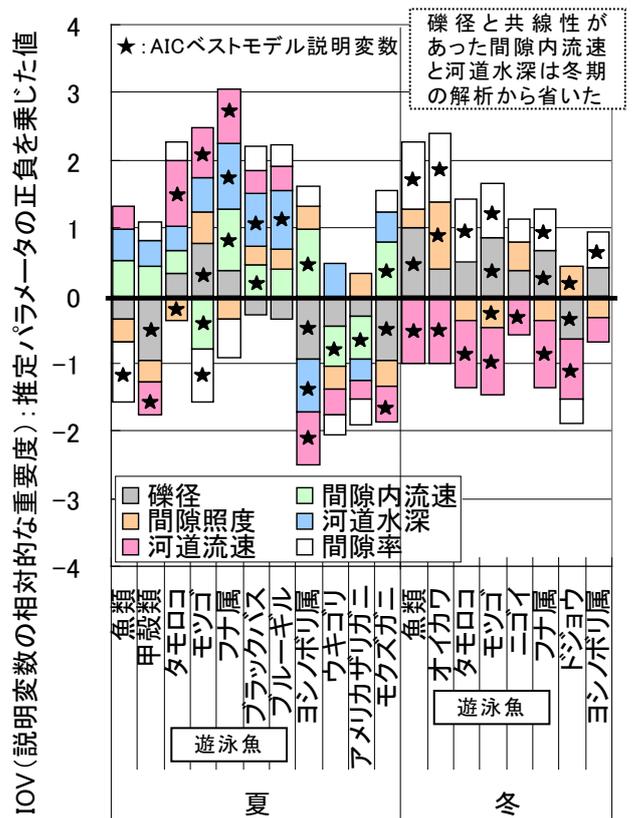


図-2 各種に対するIOV値とベストモデル選択変数

4. 考察

4.1 水生生物の間隙利用の特徴

本研究では15種類もの水生生物の間隙利用が認められ、内10種が間隙固有種であった。さらにその生息密度は礫なし区や実験河川の既往の平均密度よりも明らかに高く、間隙は水生生物の重要な生息場所であることが確認できた。また、各

種の定着に寄与する環境因子は種、季節によって異なり、間隙内環境に加えて河道の環境も定着寄与因子として重要であることが明らかとなった。

4.2 川づくりにおける効果的な礫群設置方法

ところで、多自然川づくりにおいて礫群を設置する場合には、当該箇所では保全すべき生物の生息場所だけでなく、河川景観、礫群が有する治水上の効果（河岸侵食、河床洗掘防止）、当該箇所の水理特性から礫群の流失、礫群に対する土砂堆積の可能性を評価し、具体的な適用方法を検討する必要がある。また、これら一連の検討を行う前には、対象区間全域の河岸デザインを考え、礫群を河岸設計の一手法として位置付けていくことが必要となる。本報では、以上を前提としながら、本研究で得られた成果に基づき、より効果的に礫群を設置する方法例を以下に提案してみた。

河道水深および流速がある程度大きい場所に間隙環境を創出すると（例えば、淵の水衝部に巨礫（200mm-350mm）を設置すると）、夏季に遊泳魚が利用すると予測される。この場合、在来種（+）と外来種（-）の礫径パラメータ正負が違ふことを勘案し（図-2）、礫径は大きいほうが外来種の利用を制限できる可能性がある。また、礫径を小さくし間隙内流速を確保すれば（例えば、大礫（100mm）を瀬のみお筋部に設置すると）、甲殻類（モクズガニ）の他、ヨシノボリ属の定着が期待できる。しかし、間隙内流速が小さくなると、外来種のアメリカザリガニが定着する可能性があるため注意が必要である。

一方、河道流速の小さい場所に間隙環境を創出すると、多くの魚類の越冬が期待できる。礫径は大きい方が良く、間隙率を大きく保つために積み方の検討が必要である。間隙率が大きな環境ブ

ロックを改良することにより冬季越冬場所としての機能を付加できるかもしれない。

以上、本モデルから考えられる石礫設置方法を提案したが、本研究での実験前提条件のレンジは小さいため（表-2）、今後様々な条件下での研究や実河川導入後のモニタリングが必要である。

5. まとめ

間隙環境は水生生物の生息場所として重要であり、礫サイズや設置環境によって利用生物をコントロールできる可能性を示した。また、各種の定着条件は夏と冬では異なり、修復には季節に応じた施設配置が必要であることを具体的に示した。

参考文献

- 1) Hartman, G. F.: Observations of behavior of juvenile brown trout in a stream aquarium during winter and spring. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* Vol.20, pp.769-787, 1963
- 2) Meyer, K. A. and Griffith, J. S.: Effects of Cobble-Boulder Substrate Configuration on Winter Residency of Juvenile Rainbow Trout. *North American Journal of Fisheries Management* Vol.17, pp.77-84, 1997
- 3) Davey, A. J. H., Hawkins, S. J., Turner G. F. and Doncaster, C. P.: Size-dependent microhabitat use and intraspecific competition in *Cottus gobio*. *Journal of Fish Biology* Vol.67, pp.428-443, 2005
- 4) 佐川志朗、萱場祐一、田代喬：ネコギギの再導入に関わる生息場所解析の試み—希少淡水魚類の生息場所整備の進め方—、*水利科学*、第52巻4号、pp.15~41、2008
- 5) 久保拓弥、粕谷英一：「「個体差」の統計モデリング」、*日本生態学会誌*、56、pp.181-190、2006

佐川志朗*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 専門研究
員、農博
Dr. Shiro SAGAWA

萱場祐一**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所水環境
研究グループ自然共生研
究センター 上席研究
員、工博
Dr. Yuichi KAYABA

大森徹治***



国土交通省中部地方整備局
木曾川上流河川事務所調査
課 専門官
Tetsuji OOMORI