

甲殻類に配慮した川づくりに関する研究

要旨

1. はじめに
 2. 日本の川づくりにおいて甲殻類に配慮する重要性
 3. 甲殻類の分布調査の標準化
 - 3.1 罎調査の標準化
 - 3.2 デジタル動画を使う新手法の提案
 4. 主要な甲殻類のマクロ生息場の選好性
 - 4.1 テナガエビ類
 - 4.2 ヌマエビ類
 - 4.3 カニ類
 - 4.4 総合解析
 5. 主要な甲殻類のマクロ生息場の選好性
 - 5.1 テナガエビ類
 - 5.2 ヌマエビ類
 - 5.3 モクズガニ
 6. おわりに
- 参考文献

徳島大学大学院 ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部

浜野龍夫

甲殻類に配慮した川づくりに関する研究

徳島大学大学院 ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部
浜野 龍夫

要 旨

西日本の河川のエビやカニ（甲殻類）については、海と川を往来して繁殖する「通し回遊性」の種類が特に多い。それらの地域個体群を復元するための生態情報や工法開発は非常に遅れている。そこで、良好な生息場を創出するために必要な物理的環境条件の数値化を行う研究を実施した。

本研究では、エビやカニを定量的に調査するための新たな分布調査法として、籠調査の方法、デジタル動画を使う方法を提案し使った。また、物理的環境を定量化して調査する方法を考案した。そして、正準対応分析によって生物の分布パターンと環境要因の関係を明らかにし、従来の生物の流程分布のカテゴリーの改変を試行した。野外調査でデータを得にくい生物については、安価かつ規模が大きい野外実験によりデータを集めることを試みた。

その結果、マクロ生息場の研究では、物理環境を定量化し、正準対応分析等を行うことで、従来の河口からの距離や河床勾配のみならず、礫の粒度や河岸の植生被度が、エビやカニのマクロ分布に影響を及ぼすことが明らかになった。この成果は、エビやカニの生息場を考える場合に、流域を区分してどのように保全し整備すれば良いかの指針となる。また、マイクロ生息場の研究では、物理環境を定量化して選好指数を算出して、野外実験を実施する等により、各生物種の環境選好性が明らかになった。好む基質の性状、流速や間隙サイズなどについて、種毎の情報があることから、それらを利用して河床や河岸の保全や整備に役立つ。また、エビやカニの生息場を魚巣ブロックや護床・護岸ブロックなどを利用して創出する場合にも、本研究の情報は有効になる。また、本研究によって、エビやカニの生息場として、水際の植生や河床の浮き石が重要であることが明らかになった。

1. はじめに

西日本の河川のエビやカニ（甲殻類）については、海と川を往来して繁殖する「通し回遊性」の種類が特に多い。それらの衰退した地域個体群を復元するための生態情報は少なく工法開発は非常に遅れている。エビやカニは夜間に水辺をよく移動することから、堰堤における移動経路となる魚道については、水辺に配慮した工法開発が進み普及している。しかし、魚道を通して従来の生息域にたどり着けたとしても、そこに適した生息場が無ければ復元は難しい。しかし、エビやカニの生息場を評価する情報は明らかに不足しており、客観的な数値に基づいて生息場の創出ができる状況には無い。そこで、良好な生息場を創出するために必要な物理的環境条件の数値化を行うことを目的として研究を実施した。なお、ここで言う生息場とは、マクロ生息場としてはエビやカニが分布している流域やおおまかな場所のことであり、マイクロ生息場としては夜行性であるエビやカニの日中の隠れ家のことである。

本研究では、次の点において先駆的である：

- (1) エビやカニを定量的に調査するための新たな分布調査法として、罎調査の方法、デジタル動画を使う方法を提案し、それらを使っている。
- (2) 物理的環境を定量化して調査する方法を考案している。
- (3) 正準対応分析によって生物の分布パターンと環境要因の関係を明らかにし、従来の生物の流程分布のカテゴリーの改変を試行している。
- (4) 野外調査でデータを得にくい生物については、安価かつ規模が大きい野外実験によりデータを集めることを試みている。

エビやカニを視野に含めた現実的な水辺環境の保全や工法事例についても情報が蓄積されている¹⁾。本研究を実施した河川は、自然がよく残っている徳島県南の中小河川であるが、そこに生息するエビやカニ類については事前に調査が行われ概要が判明している²⁾。

2. 日本の川づくりにおいて甲殻類に配慮する重要性

雑食性で植物をよく食べるエビやカニは、それ自身は魚類などに食べられ、河川食物連鎖において重要な役割を果たしている。水辺のエビやカニは、子どもたちを水辺に惹きつける魅力的な生きものであり、食用種は地域特産物として中山間地などでは地域活性化のアイテムとなる。そして、通し回遊性のエビやカニは、東南アジア（ASEAN 各国等）の環境変動が大きい小河川においては優占種である。こうした国々では経済発展にともなって各地で河川改修が頻繁に行われる。同様な河川環境を持つ ASEAN 諸国の中でリーダーシップをとる日本は、川づくりにおいてもそれらのお手本となるべきである。ヨーロッパやアメリカなどの大陸河川における川づくりを真似るだけでは、東南アジアの島国である日本での河川生態系の保全・復元は難しい。

3. 甲殻類の分布調査の標準化

「河川水辺の国勢調査マニュアル」には、魚介類の採集についての具体的な方法が提示されている。それらは、投網、タモ網、その他の捕獲方法（定置網、刺網、サデ網、はえなわ・どう、地曳網、玉網、セルびん、潜水による捕獲）に区分されている。ヌマエビ類

やテナガエビ類の小型個体は、日中でもタモ網ですくうことによって採集できるが、テナガエビ類の成体やモクズガニなどのカニ類をタモ網で捕獲することは難しい。これらは、日中は岩の間隙や大きな石の下に隠れているため、頻繁に調査で使われるタモ網ではそれらをひっくり返して採集できないことによる。このため、刺網や潜水による捕獲が併用されることもあるが、量的把握が難しく、漁業調整上の問題も多い。このことから、より正確な分布調査を実施するために、二つの方法を提案する。

3.1 籠調査の標準化

著者らは、河川のエビ・カニ類について、籠による採集方法について研究を重ねてきた³⁻⁶⁾。その結果、河川調査で、エビ・カニ類を採集する方法として、タモ網による採集に加えて、次のように籠を使うことを提案する。

1ヶ所につき、カニ籠とエビ籠（お魚キラ）を1個ずつ使う（図1）。カニ籠ではモクズガニが採集でき、エビ籠ではテナガエビ類が採集できる。エビ籠の出入り口には直径約4cmのリング（塩ビパイプVP40を5mm程度に輪切りにしたものでよい）を取り付ける。これによってテナガエビ類を排除する大型モクズガニが入籠するのを防ぐことができる。カニ籠やエビ籠の内側に備わっている袋やポケットにエサを入れると、籠の外側からエサを食べて入籠しない個体があり、また、入籠してエサを食べ尽くしたり満腹してしまうと、籠から脱出する個体が増える。よって、籠の内側からのみ、エサを少しずつ食べることができるよう、釣りで使われるオキアミ用コマセ籠（ステンレスアンドン籠）にエサを入れて内側天井に吊るす。1籠あたり冷凍サンマ100gを使い、5mm程度の幅で切れ込みを多数入れてエサとして使う。これらの籠を日没前に設置し、翌朝に揚げる。

3.2 デジタル動画を使う新手法の提案

エビ類の生息密度や生息場の利用状況を適性に評価するには、デジタル動画による調査が必要である。本研究に際して考案した新手法の概略を示す。動画は市販の動画撮影が可能なデジタルカメラを防水ケースに入れて使用する。動画のぶれを軽減するため、カメラは水中撮影用のステーに取り付ける（図2）。潜水して動画を撮影しながら下流から上流に向かって河床の石を裏返して進み、対象種を確認した場合、ステーに取り付けたアーム（先端には金属製定規を取り付けてある）で生物を手前に追い立て、さらに柄をつけた小さな定規を差し入れて写し込むことで、解析時に体長などをより正確に計測することが可能となる。テナガエビ類では体側を映すことで、また、カニ類では徒手採集して腹部を映すことで、後に画像から性や抱卵の有無も判別可能となる。さらに、トランセクトや方形枠などを用いて調査面積を予め定めておけば、対象種の生息密度を求めることが可能となり、定量的な調査となる。この方法によって、対象種を殺すことなく、調査員が1名だけの短時間のフィールド作業で定量的データを得ることができる。ただし、その後の室内での映像観察には撮影時間の数倍の時間がかかり、汽水域では塩分躍層が生じると像がぼやける。そして、小型のヌマエビ類では体サイズや性判別の精度は低い。しかし、このような特性に留意すれば、デジタル動画による調査は、テナガエビ類などの個体群生態や環境選好性を研究する際に有効なツールとなる。

4. 主要な甲殻類のマクロ生息場の選好性

研究は徳島県南部の美波町を流れる日和佐川で行った。日和佐川は、八郎山に源を發し、太平洋に注ぐ、流路延長約 16.3 km の二級河川である（図 3）。主な支流として、北河内谷川、山河内谷川、奥瀧川があり、日和佐川および北河内谷川では河口から約 2.3 km の範囲が感潮域となっている。河床縦断型は滑らかな指数曲線状で（図 4）、河床は主に円礫で構成される。水質は良好で、下流域の河口部周辺は市街地や水田がひろがっている。それ以外の地域では、民家や田畑がまばらにあるものの、大部分はスギおよびヒノキの植林地やシイ・カシの二次林に覆われた山林である。本水系にはダムが設置されていない。ダム以外の河川横断構造物として取水堰や床止め工などが設置されているが、最上流部の砂防堤群を除き、いずれも落差 1 m 内外と小規模である。以上のことから日和佐川は、環境の人為改変が少なく、自然本来のエビ類の流程分布をよく残していると考え、調査地とした。

調査は、日和佐川 14 点、支川の北河内谷川 10 点、支川の山河内谷川 5 点、支川の奥瀧川 1 点の計 30 定点で行った（図 3）。定点は河川名のローマ字表記の頭文字とそれぞれの河川で河口側から振った通し番号の組み合わせで示した。これらのうち、日和佐川と北河内谷川の最下流の定点（H01、K01）は、感潮域に位置している。H12 の直上から H14 の上流にかけて複数の砂防堤が設置されている。

マクロ生息場については、2010 年 7 月～8 月に調査した。調査には、籠採集（前出）、タモ網、およびデジタル動画（前出）を使い、努力量を統一して行った。タモ網（間口：28×33 cm、目合い：5 mm）採集では、各定点で日中に 10 分ずつ、河岸で抽水植物や水没した河畔の植物などの根元や落葉などをすくいとった。礫底では、河岸近くに網を固定し、足でエビを追い込んだ。動画は日中に各定点で 10 分ずつ、潜水して下流から上流に向かって石を裏返しながら甲殻類を探し、発見した個体を定規とともに撮影した。

本調査では、成体の主な生息場が淡水域にある種を淡水産十脚甲殻類とし、汽水域のみで見られる種は対象外とした。採集した個体のうち、大型個体は現地で種を同定し、性を外部形態から判別した後、ノギスを用いて体サイズを計測した後に放流した。小型個体は冷凍保存し、後日、種を同定し、同様に体サイズを計測した。動画で確認した個体は、映像から種および性を判別し、体サイズを 5 mm 単位で記録した。テナガエビ類では外部形態から性を判別できる全長 40 mm 以上の個体を成体、30～40 mm の個体を未成体とした。テナガエビ類、およびヌマエビ類では、明らかに加入直後と思われる小型個体はデータから除外した。

物理的環境要因として水深（cm）、川幅（m）、流速（cm/s）および底質粒度を、生物的環境要因として河畔に生育する樹木の樹冠が定点内で河道上空を覆う面積の割合（%、以下樹冠）および水没した河岸の植生が定点の河岸の長さにも占める割合（%、以下河岸の植物）を記録した。流速は、プロペラ式流速計を用い、河道横断線上に等間隔でとった 5 点においてそれぞれ水深の 6 割の場所 1 点での 1 点代表流速を 5 回計測し、それらの平均値を用いた。底質の評価には面格子法を用い、Wentworth の粒径区分で区分し、それぞれ 1～6 の数値を割り振って記録した。底質の粒度とばらつきは粒径の順位尺度変数の平均値および標準偏差で示した。流量（m³/s）は河川断面積と平均流速から算出した。河口からの距離（km）標高（m）河床勾配（‰）は、国土地理院発行の 1/25000 地形図から読み取り、標高は対数

変換 ($\ln + 1$) した。これらの他、調査時に表面水温 (°C) を計測した。そして、定点の河川形態を可児の河川型に従って記録した。

4.1 テナガエビ類

ヒラテテナガエビは、下流域から中流域 (H01-H10、K01-K08、K10、Y01-04) に分布していた (図5上)。努力量あたりの捕獲数は中流域で多く、汽水域では少なかった。ミナミテナガエビは、下流域から中流域 (H01-H07、K01-K05、Y01、Y05) に分布しており、分布の上端はヒラテテナガエビよりも下流側 (H07、K05) であった。努力量あたりの捕獲数は、汽水域上端付近の定点 (H01、K01) で多く、淡水域では少なかった。スジエビは中流域 (H04、H05) に分布していたが採集個体数が計2個体と少なく、その後の解析からは除外した。

4.2 ヌマエビ類

ヌマエビ類のうち、ヤマトヌマエビとミナミヌマエビは中流域から上流域に分布していた (図5下)。ただし、ヤマトヌマエビが本流、支流、双方に出現したのに対し、ミナミヌマエビは支流のみ出現した。ミナミヌマエビは、他の甲殻類が確認できなかった奥潟川 (O01) でも採集された。ヌマエビ (南部群) は下流域から中流域にかけて広い範囲に分布していた。その努力量あたりの捕獲数は中流域で多く、汽水域では少なかった。トゲナシヌマエビ、ミズレヌマエビ、ヒメヌマエビの3種は下流域に分布していた。このうち、トゲナシヌマエビは汽水域には出現しなかった。努力量あたりの捕獲数は、トゲナシヌマエビが淡水域下端 (H02、K02) のみで多いのに対し、ミズレヌマエビ、ヒメヌマエビの2種は汽水域上端 (H01、K01) から淡水域下端 (H02、K02) にかけて多くなっていた。

4.3 カニ類

カニ類では、モクズガニが下流域から中流域にかけて広く分布していた (図6)。努力量あたりの捕獲数は、中流域で多くなっていた。サワガニは、上流域のみで見られ、努力量あたりの捕獲数は、本流の最上流域 (H14) で特に多くなっていた。

4.4 総合解析

甲殻類の分布パターンと環境要因の関係を明らかにするため、正準対応分析を行った。正準対応分析 (CCA) は、生物群種の種組成が環境条件の変化に対して一山形の反応をするとの前提で、種と地点の序列化を行う多変量解析の手法である。主要な変化軸が解析に用いられていることを確認するため、CCA に先立ち、歪除対応分析 (DCA) を行った。個体数のデータには、3通りの採集手法の和を用い、データを正規分布に近づけるため、対数変換 ($\ln + 1$) した。総個体数が全体の1%以下の種は解析から除外した。DCA では、ひずみを除去する過程で CA の変化軸が破壊されるため、因子負荷量を軸の影響の強さをはかる指標にすることは不適當である。そのため、座標空間におけるユークリッド距離と元データにおけるユークリッド距離との決定計数を示した。CCA では多重共線現象の発生を防ぐため、ステップワイズ法を用いて分散拡大要因 (VIF) が20を超える要因を解析から除外した。座標は環境要因計測時のノイズの影響を受けにくい加重平均スコアを用いて

作成し、種のプロットの配置を最適化した。第一軸の有効性は、モンテカルロ法（反復計算回数：999回）により検定し、 $p < 0.05$ を有意とした。

DCAの結果、十脚甲殻類の分布パターンは、主に最初の二軸で説明され、第一軸の決定係数が高かった。第一軸は河口からの距離や樹冠と正の相関があり、川幅や河岸の植生と負の相関があった。第二軸は、底質粒径、河口からの距離と負の相関が見られた。

CCAの結果は、DCAの結果とおおむね一致し、軸により説明される環境変化の割合を示す決定係数も近い値となった。従って、CCAには、十脚甲殻類の分布に影響を与える主要な環境要因が解析に用いられていると考えられた。CCAでは、最初の2軸で種の分布の38.7%が説明された。また、モンテカルロ法の結果は、第一軸の有効性を示した($p < 0.005$)。甲殻類の分布パターンは、主に流程に起因する要因と河床環境により説明された。第一軸は流程に起因する要因で、河口からの距離と負の相関が高く(-0.851)、河床勾配や樹冠と負の、河岸の植生と正の相関が見られた。第二軸は底質、流速と負の相関が見られた。

CCAでは、環境要因は矢印で示され、長さが種の分布に及ぼす影響の相対的な強さを、向きが影響の最も大きい方向を表す。種のプロットの配置を最適化したため、図7で示したCCAの座標平面は、種の分布パターンと環境要因の関係を反映している。特定の環境要因がそれぞれの種の分布に及ぼす相対的な影響の強さは、環境要因の矢印の延長線と種のプロットからこの矢印に落とした垂線との交点から原点までの距離により示される。横軸方向に見ると、下流域で見られたヒメヌマエビやミゾレヌマエビが右側に、中・下流域に広く生息していたヒラテテナガエビやヌマエビ(南部群)、モクズガニが中央に、上流域で見られたサワガニが左端にプロットされた(図7)。中・上流域で見られた種のプロットの位置を比較すると、ミナミヌマエビが他の種に比べて座標平面の上方に位置しており、底質粒径が小さい環境を利用していることが示された。また、ヒラテテナガエビやヤマトヌマエビが礫の粒度の大きい環境を好むのに対し、ミナミヌマエビは河岸の植生の多い環境を好んでいた。下流域に多く出現した種では、ミナミテナガエビ、トゲナシヌマエビ、ミゾレヌマエビ、ヒメヌマエビの順で河岸の植生への依存度が高くなっていた。

CCAの結果、河口からの距離や河床勾配など、河川の流程を説明する環境要因が甲殻類の分布パターンに最も強い影響を及ぼしていることが示された。この結果は、日本において河川における十脚甲殻類の分布の説明に盛んに用いられてきた流程分布の有効性を支持するものである。さらに、流程に加え、礫の粒度の様な河床環境を示す環境要因の影響が大きいことが明らかになった。これまで河床環境は、マイクロハビタットスケールで種の分布パターンを説明する要因として取り上げられてきた。しかし本研究の結果は、これらがマクロスケールにおいてもエビやカニの分布を左右していることを示しており、希少種の保全戦略や有用種の増殖方法を検討する上で有用なデータになる。

中流域まで分布するミゾレヌマエビとヒメヌマエビは、CCAでは河岸の植生への依存度が高かった。下流域における日中の生息場として、ミゾレヌマエビは植物の根や竹を、ヒメヌマエビは巨礫の下の間隙でも見られるものの、主に植物の根や竹、川底の落ち葉や利用していた。一方、中流域まで連続的に確認されたミナミテナガエビは、CCAの結果、下流域に生息するヌマエビ類に比べ川岸の植生への依存度がやや低かった。ミナミテナガエビの下流域における日中の生息場は、加入直後の個体が主に河岸近くの浅瀬や河岸の植生、成体と未成体が主に礫の下やブロックの間隙である。河床勾配が比較的緩やかな支流の上

流域には、流れが緩やかで、河岸に植生が繁茂するミゾレヌマエビとヒメヌマエビに好適と思われる環境が存在する。しかし、両種は、ミゾレヌマエビが Y04 で 1 個体、K08 で 2 個体採集されたことを除き、上流域では採集されなかった。下流域と上流域の生息適地間の遡上経路にあたる中流域には流れが急な瀬が連続した区間があり、河岸に植生はほとんど見られない。従って、流程分布から説明される遡上能力に加え、生息場として礫を利用できるか否かと遡上経路における河岸の植生の有無がこれら 3 種の分布パターンに違いが生じる原因であると考えられた。

テナガエビ類の生息場利用については、水系内における分布の中心が種によって異なることが確認された。また、2 種間で同様に流速の好みは異なり、礫や河岸の植生においても選好性に違いが見られ、両種の大まかな環境選好性が明らかとなった。

これまで淡水産エビ類の分布様式は、河川型との関連から単に「流程分布」という形で説明されてきた。しかし、本研究で多変量解析により分布と環境要因の関係を検討した結果、流程に加え、礫の粒度と河岸の植生被度がそれぞれの種の分布パターンの違いをよく説明した。従って、流程分布に河床や河岸の環境との関係やそれぞれの種の生活史特性を組み合わせることで、エビ・カニ類の分布様式をよりの確に表現できる。本研究の成果から、次のように仮に 6 群にまとめたが、これについては、現在なお名称等を検討している：(1) 下流域植生依存群、(2) 中・下流域基質非依存群、(3) 中・下流域礫依存群、(4) 上・中流域礫依存群、(5) 上流域半陸生群、(6) 滞留域植生依存群。

5. 主要な甲殻類のマイクロ生息場の選好性

前節では、単に地理的な情報によって区分されてきたマクロ分布である、流程分布について研究し、その分布を決定している要因を抽出した。ここでは、各流程に存在するマイクロ生息場に対する選好性について研究を行った。研究は、テナガエビ類とヌマエビ類とモクズガニを対象とし、徳島県海部郡を流れる日和佐川水系および牟岐川水系において実施した。両河川とも、上流部には砂防堤があるものの、中・下流部にはダムは無く、自然な河床や水辺がよく残っており、通し回遊性のエビ・カニ類が多い。

テナガエビ類については、ミナミテナガエビとヒラテナガエビの基質選好性や間隙選好性について調査を実施した。また、ヌマエビ類についても調査を実施し、野外調査で大型個体のデータが得にくいモクズガニについては野外実験を実施した。

5.1 テナガエビ類

基質への選好性を 2010 年 9 月～2011 年 10 月におよそ隔月 1 回、汽水域と淡水域にそれぞれ 2 定点を設け、定点内の特徴的な天然の底質や人工構造物間で日中の生息密度を比較した。それぞれの基質で 3 ヶ所ずつ、バイアスが加わらないように選んだ任意の場所に一辺の長さが 1 m の平方枠を置き、水中動画撮影（前出）を行った。動画で確認した甲殻類の種、性、全長を記録した。なお、外部形態から性を判別できる全長 40 mm 以上の個体を成体、30～40 mm の個体を未成体とした。それ未満のサイズの個体は解析から除外した。2011 年 5 月～7 月には、各定点内における礫の分布状況を調査した。

汽水域の 2 定点では、ミナミテナガエビのみが確認された。年間を通じた汽水域でのミ

ナミテナガエビの生息密度は、大礫底で最も高く、続いてブロックと河岸植生近くの大礫底で、中礫底、河岸植生近くの中礫底、コンクリート護岸では低かった。成体と未成体の基質の利用パターンはほぼ等しく、成体の生息密度がいずれの基質においてもやや高くなっていた(図8)。生息密度の季節変化を見ると、夏には生息密度が顕著に高くなっており、冬から春にかけて低下していた。基質別にみると、大礫底とブロックでは、年間を通して本種が確認されたものの、植生近くの大礫底では、2月に本種が確認されなかった。生息密度が高い夏には、それまで利用が確認されなかったコンクリート護岸や中礫底においても、本種が確認された。淡水域の2定点では、ヒラテナガエビとミナミテナガエビの2種が確認された。H06(調査定点の番号は図3図4参照、以下同じ)では、台風や集中豪雨の影響で2011年6月に木杭沈礁が崩れたため、それ以降は調査を行わなかった。ヒラテナガエビは、H08の割り石護岸、凹凸のある岩盤(以下、岩盤)、および大礫底における年間を通しての生息密度が近い値となった。季節変化をみると、水温が10℃を下回る12月および2月には、岩盤で本種が確認されなかった。H06では、木杭沈礁での生息密度が大礫底やブロックに比べ高くなっていた。冬には、大礫底で本種が見られたものの、木杭沈礁では見られなかった。未成体は、両定点ともに秋を除き、ほとんど採集されなかった。ミナミテナガエビは、H08では岩盤での生息密度が割り石護岸や大礫底に比べ高くなっていた。岩盤ではほぼ周年確認されたものの、割り石護岸では、8月~10月にのみ確認された。2010年9月および10月には、岩盤での生息密度が顕著に高くなっていた。H06では、木杭沈礁での生息密度がやや高くなっていた。冬には、大礫底で本種が見られたものの、木杭沈礁では見られなかった。調査を行った基質間で底質の粒度に違いが見られた。大礫底では巨礫が確認されたのに対し、中礫底では巨礫が確認されなかった。

汽水域でミナミテナガエビの生息密度が高い基質では、いずれも巨礫が確認された。本研究で中礫底とした基質には、本種が身を隠すのに必要な大きさのある大礫があるにもかかわらず、本種はまず見られなかった。これは、テナガエビ類に適した間隙が自然に形成されるには、巨礫のサイズ区分に入る粒径が必要であるためだと考えられる。日和佐川のような中規模河川の下流域においては、巨礫の多寡に着目する事で、ミナミテナガエビの生息場の良否を大まかに判断できる可能性が示唆された。河岸の植生はエビ類の重要な生息場であると考えられるが、両側回遊性のテナガエビ類の場合、河岸の植生近くであっても、礫の大きさが小さければ、生息場として機能しないことが示された。また、植生付近の大礫底は、流量が低下する冬季には間隙が微細粒子によって埋まり、生息場としての機能が失われることが示された。ブロックでの生息密度が大礫底に次いで高くなっていた。ブロックが狭い間隔で設置された場合、天然の大礫底の代替シェルターとして機能すると言える。淡水域では、割り石護岸がヒラテナガエビの生息場として有効であるものの、ミナミテナガエビには適さないことが示された。これは、凹凸のある岩盤が間隙を提供するのみならず、河床の潜堀を促進して淵を作り、ミナミテナガエビが好む緩やかな流れを作り出すためだと考えられる。また、木杭沈礁は、大礫底よりもテナガエビ類の生息場として有効であることが示された。これは、浮石状態の巨礫を多層に配した構造が、テナガエビ類が隠れるのに適した内部の暗い様々な大きさの間隙を多数作るためであろう。しかし、本工法は水位変動や増水への抵抗性が低く、直接水流があたる様な場所に施工することは難しい。水位変動に強く、同様の構造を持つ蛇籠などで同等の生息場を作れるか検討する

必要があろう。

2010年10月～2011年10月には、隔月1回、前項の基質選好性調査と同じ4定点でテナガエビ類が日中に利用する間隙の特徴を調査した。潜水観察によりテナガエビ類を探し、種、性、体サイズを記録した。続いて、テナガエビ類を確認した地点の物理的性状（水深、流速、底質の粒度、表面粗さ、色など）、間隙の性状（長辺、短辺、および奥行き長さ、開口方向など）、間隙の利用状況を計測、または記録した。そして、2011年5月～7月には、各定点内での物理的環境や間隙の分布状況を調査した。底質の粒度は前節のとおり記録した。表面粗さは、指先で表面に触れた感触と同等な感触のJIS規格に準拠した紙やすりの5段階の区分のいずれに該当するかを記録した。色は、24色のカラーチャートを水中に持ち込んで最も近いものを目視で選び、記録した。各環境要因に対するテナガエビ類の選好性を明らかにするため、とりあえず以下の式を用いて選好指数を求めることにした。

$$D_{sa} = (r_s - p_a) / (r_s + p_a - 2 r_s p_a)$$

ここで、 D_{sa} は選好指数、 r_{sa} は利用率（テナガエビ類がその環境区分を利用した頻度）、 p_{sa} は全体率（定点内におけるその環境区分の出現頻度）である。 D_{sa} は1～-1の値を取り、正の値であればその環境を選択的に利用したことを示し、その逆であれば、その環境を忌避している事を示す。0の場合、特に選好性を示さず、その環境の出現頻度に応じて利用している事を示す。

その結果、ヒラテテナガエビは流速15～30 cm/sの流れが速い場所を好むのに対し、ミナミテナガエビは5 cm/s未満の遅い流れを好んでいた。ただし、淡水域ではやや流れの速い20～25 cm/sでも選好性を示した（図9）。水深では両種とも10 cm以浅、40～80 cmあるいは、140 cm以深の場所を好んでいた。両種とも表面の粗い場所を好んでいたが、ミナミテナガエビが滑らかな場所を忌避するのに対し、ヒラテテナガエビは非選択的であった。ヒラテテナガエビは濃い緑や茶色、薄い灰色を好み、橙や濃い灰色を忌避していた。ミナミテナガエビは、橙や濃い緑、緑に選好性を示し、ヒラテテナガエビに比べやや濃い灰色を好む傾向が見られた。間隙の壁となる底質の粒度では、両種とも中礫よりも小さい底質を忌避し、巨礫と凹凸のある岩盤に選好性を示した。ただし、ミナミテナガエビでは流程により選好に違いがみられ、淡水域では大礫を忌避するのに対し、汽水域ではやや選好性を示した。間隙内の底質への選好性では、ヒラテテナガエビと淡水域のミナミテナガエビが細礫や中礫を忌避し、大礫以上の粒度の場所を好んでいた。汽水域のミナミテナガエビは、中礫とサンプル数の少ない凹凸のある岩盤を忌避していた。また、ミナミテナガエビはヒラテテナガエビに比べ、入り口の長辺の長く、奥行きの短い間隙を好んでいた（図10）。短辺では大きな違いは見られず、両種とも6 cm以上の間隙を好んでいた。間隙の利用状況では、ヒラテテナガエビが間隙の前方に多いのに対し、ミナミテナガエビは中ほどにいる個体が約半数を占めていた。両種とも前方を向いている個体が大部分を占めていたものの、ミナミテナガエビでは横を向いている個体がヒラテテナガエビに比べてやや多かった。ヒラテテナガエビでは、約9割の個体が腹ばいで定位していたのに対し、ミナミテナガエビでは7割ほどで、約2割の個体は間隙の側壁にしがみついていた。

ミナミテナガエビは淡水域で岩盤に高い選好性を示すものの、汽水域では逆に忌避していた。これは、汽水域でみられる岩盤、すなわちK01のコンクリート護岸にできた間隙が浅すぎ、本種が身を隠すのに十分なスペースがないためであると考えられる。調査範囲全

域でみると、ヒラテテナガエビはミナミテナガエビに比べ、奥行きのある間隙を好んでいた。しかし、淡水域に限ってみると、種間で選好性に違いは見られなかった。

本研究により、好適な間隙の有無がテナガエビ類の隠れ家選択において最も重要な要因である可能性が示された。このデータに基づき、それぞれの種にあった流速域に好適なサイズの間隙を用意する事で、テナガエビ類の日中の生息場を効率的に増やすことが可能となるであろう。

5.2 ヌマエビ類

徳島県海部郡を流れる日和佐川水系および牟岐川水系における中・上流部の合計7地点にて、2011年9月～11月に調査を実施した。川岸に沿って5mのトランセクトを設定し、水際に方形枠(50cm×50cm)を連続的に配置した。以降1枠分を1セルと称す。タモ網を使用してセル毎のヌマエビ類を採集し全長を測定した。物理的環境要因として、枠の中心の水深、流速および水面の照度と、セル内において浸水する植生の占める面積の割合(以下植生被度とする)、水面に差しかかる植生(以下オーバーハング)の有無、優占する底質を記録した。底質の礫の区分はWentworthの粒径区分に加えて凹凸のある岩盤に区分した。流速はプロペラ式流速計を使用して1点代表流速を測定した。水温や照度の測定も実施した。

計測した水深、流速、水面の照度、植生の被度の環境要因について、採集できた個体数の多かったミナミヌマエビ、ヌマエビ(南部群)、ヤマトヌマエビが採集できた「生息セル」と採集されなかった「非生息セル」において平均値と標準偏差を比較した(図11)。水深については3種とも生息セルが非生息セルより深い傾向にあった。流速については3種とも生息セルが非生息セルより小さく、標準偏差も小さかった。水面における照度は、ミナミヌマエビとヤマトヌマエビは生息セルのほうが非生息セルより低い値となったが、ヌマエビ(南部群)については生息セルが非生息セルよりやや高い値だった。植生の被度は3種とも生息セルのほうが非生息セルより大きい値だった。ヌマエビ類が特に多く生息する場所は、植生の根本が流水に浸食されてえぐられており、かつ、その根が浸水する場所だった(図12)。本調査の結果ではヌマエビ類の見つかった場所では植生被度が高く、流速が遅い傾向にあった。また、今回の調査で確認したミナミヌマエビ、ヤマトヌマエビについては照度の低い場所を選ぶ傾向が顕著であり、植生は水面に差し込む日光を遮る効果がある。そのことも植生が重要な生息場となった理由ではないかと考えられた。

さらに、水温低下時における調査を、徳島県海部郡を流れる日和佐川の中流部および牟岐川の上流部におけるそれぞれ1地点にて、2012年2月～3月に実施した。河床に方形枠(1m×1m)を置き、そこに生息するヌマエビ類の個体数を潜水による目視で調べた。枠は流れのタイプの異なる場所(早瀬、平瀬、淵)を選び、河道横断線上に等間隔に5点、川幅が5m未満の場合は3点に配置した。同時に物理的環境要因として枠の中心の水深、流速、底層水温、および底質を前記の方法で記録した。また、ヌマエビ類が隙間に入り込むことができると考えられた大礫と巨礫については、浮き石状態か沈み石状態であるかも調べた。粒径のばらつきは、順位尺度変数の平均値と標準偏差で表した。

調査時の水温は牟岐川で8.6℃～10.6℃、日和佐川で7.3℃～9.9℃であった。経時的な変化はあったものの、同時刻に水深の違いによる差は見られなかった。調査面積は淵35㎡、

平瀬 16 m²、早瀬 21 m²であった。ヌマエビ（南部群）197 個体、ヤマトヌマエビ 202 個体が見つかった。ヌマエビ（南部群）はすべて淵で見つかった。ヤマトヌマエビは淵に多かったものの、平瀬や早瀬で見つかったものもいた。ヌマエビ（南部群）は流速 10 cm/s 未満に、ヤマトヌマエビは流速 20 cm/s 未満の場所に分布が集中していた。記録した礫の粒径尺度の平均値と標準偏差、底質について、底質の粒径は 2 種とも生息セルのほうが非生息セルより大きかった。底質に占める大礫および巨礫の浮き石の割合は両種とも生息セルのほうが非生息セルより高かった。この傾向はヤマトヌマエビのほうが顕著であった。

ヌマエビ（南部群）は 10 cm/s 未満という非常に遅い流れを好むことがわかった。この地域ではヌマエビ（南部群）上流～中流域が生息域であるとされる。そのような流域では流速 10 cm/s 未満の場所はほとんど淵か水際にしか形成されないと考えられる。一方ヤマトヌマエビは 20 cm/s 未満の場所から多くの個体が見つかったものの、40 cm/s を超える早瀬でも見つかり、ヤマトヌマエビはヌマエビ（南部群）より早い流れに生息しようと考えられた。ただし調査を行ったのは水温が低い冬期であり、変温動物であるヌマエビ類の活性は 1 年で最も低くかったと考えられることから、水温の上昇に伴う生息場の変化を今後の課題としたい。また本調査では、ヤマトヌマエビはほとんどの個体が大きな礫の隙間や裏側で見つかったが、一方でヌマエビ（南部群）は浮き石ではない岩盤や礫の上からもたくさん見つかった。それが生息していた場所の浮き石の割合が、ヤマトヌマエビのほうがヌマエビ（南部群）より高くなった理由であると考えた。さらにヤマトヌマエビが礫の隙間や裏側を生息場として利用している理由は、前節でも述べたようにヤマトヌマエビは照度の低い場所を好むからであろう。

5.3 モクズガニ

モクズガニが日中に潜んでいる場所を見つけることは難しく、また、それを見つけても物理的環境やその環境の出現頻度を測定して選好性を算出することが難しいことから、日佐川の上流部にてフィールド実験を実施した。この場所は、カニ籠を使用した他の調査でモクズガニが多数生息することが事前に確認されている。複数回の予備実験によって実験スケールや実験施設などの方法を確定した後に、本実験は 2011 年 9～10 月に実施した。河川内に農業用ポールを支柱として農業用ネットで覆った長さ 8 m×幅 2 m×高さ 1 m の実験区を造成した（図 13）。基質として巨礫、大礫、中礫、砂、落ち葉および沈木の 6 種類の基質を用意し、実験区内を 1 m×1 m の正方形の区画に分けてそれぞれ 2 区画ずつランダムに敷き詰めた（図 13）。また、巨礫および大礫については、軽く積み上げて、礫間の隙間をできるだけ残すようにした「浮き石」区と、中礫で隙間を埋めた「沈み石」区の 2 種類の区画を造成した。砂と落ち葉は、カニが体全部を潜り込むことができるよう、体高より深い 10 cm 以上の厚さとなるように敷き詰めた。礫の大きさについてはランダムに選択した 10 個の平均サイズが Wentworth の粒径区分にあてはまるようにした。そして調査地点より約 2 km 下流にてカニ籠を使ってあらかじめ捕獲しておいたモクズガニの甲幅と湿重量を測定した後に、個体識別番号を甲羅に白マジックで記し、日中に実験区内に放流した。翌日から午前中に 1 回水温の測定を行い、実験区内で放流個体を探し、個体識別番号、カニが隠れていた基質、その場所の水深、流速、隙間の入り口の長径と短径を記録した。実験区内のモクズガニには、エサとして、同河川に多数生息しているカワムツの新鮮な切り身を 1

日1回、食べ残しが出ない程度に与えた。エサは実験区内に偏りなく撒くよう心がけた。調査期間中の水温は16.6℃～18.8℃であった。

この実験により、甲幅約5～8cmの延76個体分のデータを取ることが出来た。そのうち57個体(75%)が巨礫(浮き石)区に隠れていた。15個体(20%)が沈木区に、3個体(4%)が巨礫(沈み石)区に、1個体(1%)が大礫(浮き石)区に隠れていた(図14)。モクズガニは隠れていた隙間の入り口の幅が、甲幅と同じ程度～4倍程度の隙間をよく使っていた。モクズガニは砂や葉に潜って隠れることはなく、礫の隙間や流木の下や隙間に隠れていた。今回の実験では入り口の幅が甲幅の4倍まで幅の隙間を使っていたと考えられるが、実際にカニが隠れていた場所は隙間の入り口より奥の方であることがほとんどであるため、実際は入り口の大きさよりさらに狭い場所を選んで隠れていると考えられる。本実験では粒径区分が大礫以下の大きさではモクズガニの成体が入ることが出来る大きさ隙間がほとんどできなかった。

6. おわりに

この研究の成果の概要は以下のとおりである：

(1) テナガエビ類やカニ類はタモ網採集による定量調査が難しいため、それらの分布調査をする手法として、籠やデジタル動画を使う方法を提案し、調査を実施した。

(2) マクロ生息場の研究では、物理環境を定量化し、正準対応分析等を行うことで、従来の河口からの距離や河床勾配のみならず、礫の粒度や河岸の植生被度が、エビやカニのマクロ分布に影響を及ぼすことを明らかにした。また、それらの環境への選好性から、生物の新たなグループ分けを試みた。

(3) マイクロ生息場の研究では、物理環境を定量化して選好指数を算出し、野外実験を実施する等により、各生物種の環境選好性を明らかにした。

マクロ生息場研究の成果からは、エビやカニの生息場を考える場合に、流域を区分してどのように保全し整備すれば良いかの指針となる。また、マイクロ生息場については、好む基質の性状、流速や間隙サイズなどについて、種毎に情報があることから、それらを利用して河床や河岸の保全や整備に役立つ。また、エビやカニの生息場を魚巢ブロックや護床・護岸ブロックなどを利用して創出する場合にも、本研究の情報は有効になる。

また、本研究によって、エビやカニの生息場として、水際の植生や河床の浮き石が重要であることが明らかになった。

本研究については、現在もフィールドで調査・実験を継続し、データ蓄積を重ねているため、より精度の高い傾向や数値については、後日、論文としてまとめ公刊予定である。

参考文献

- 1) 浜野龍夫・伊藤信行・山本一夫(2008)水辺の小わざ(改訂増補版). 山口県土木建築部河川課, 272 pp.
- 2) 浜野龍夫・鎌田正幸・田辺 力(2000)徳島県における淡水産十脚甲殻類の分布と保全. 徳島県立博物館研究報告, 10, pp. 1～47.
- 3) 鈴木朋和・浜野龍夫・林 健一・永松公明(1998)モクズガニの入籠特性. 水産大学校研究報告, 47(1), pp. 7～14.

- 4) 和田信大・浜野龍夫・林 健一・永松公明・三代健造 (2000) モクズガニ籠に使用する人工餌について. 水産大学校研究報告, 49 (1), pp. 13~21.
- 5) 浜野龍夫・狩俣洋文・松倉一樹・荒木 晶・永松公明・濱口正人・青木邦匡 (2004) モクズガニの遡上稚ガニを採集するための漁具とその設置時期. 水産大学校研究報告, 52 (3), pp. 93~112.
- 6) 中田和義・和田信大・荒木 晶・浜野龍夫 (2005) テナガエビ類の採集に用いるエビ籠の構造と使用人工餌料. 水産増殖, 53 (3), pp. 263~274.



図 1. カニ籠 (左) とエビ籠。(お魚キラー、右).
エビ籠の出入り口には直径 4cm のリングを取り付けている.
手前はエサを入れるステンレスアンドン籠.



図 2. デジタル動画調査用の撮影セット.

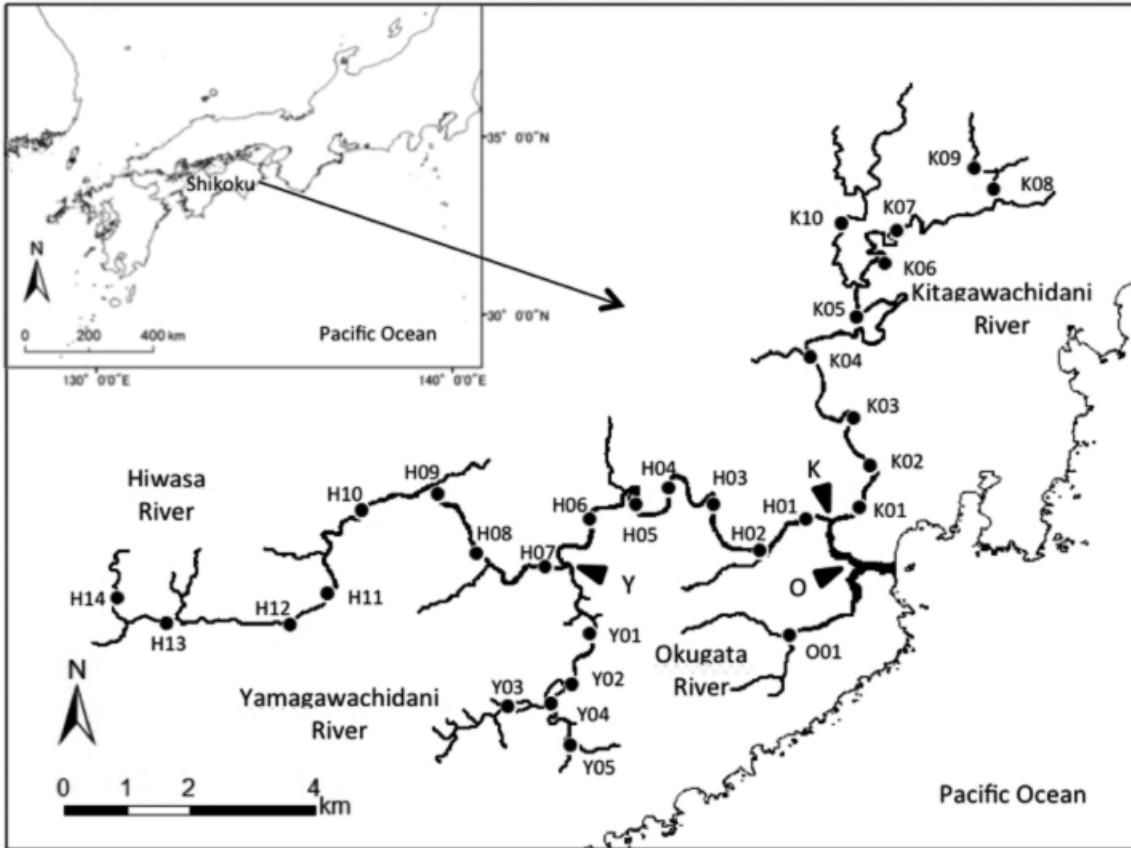


図 3. 研究を行った日和佐川の調査地点（平面図）.

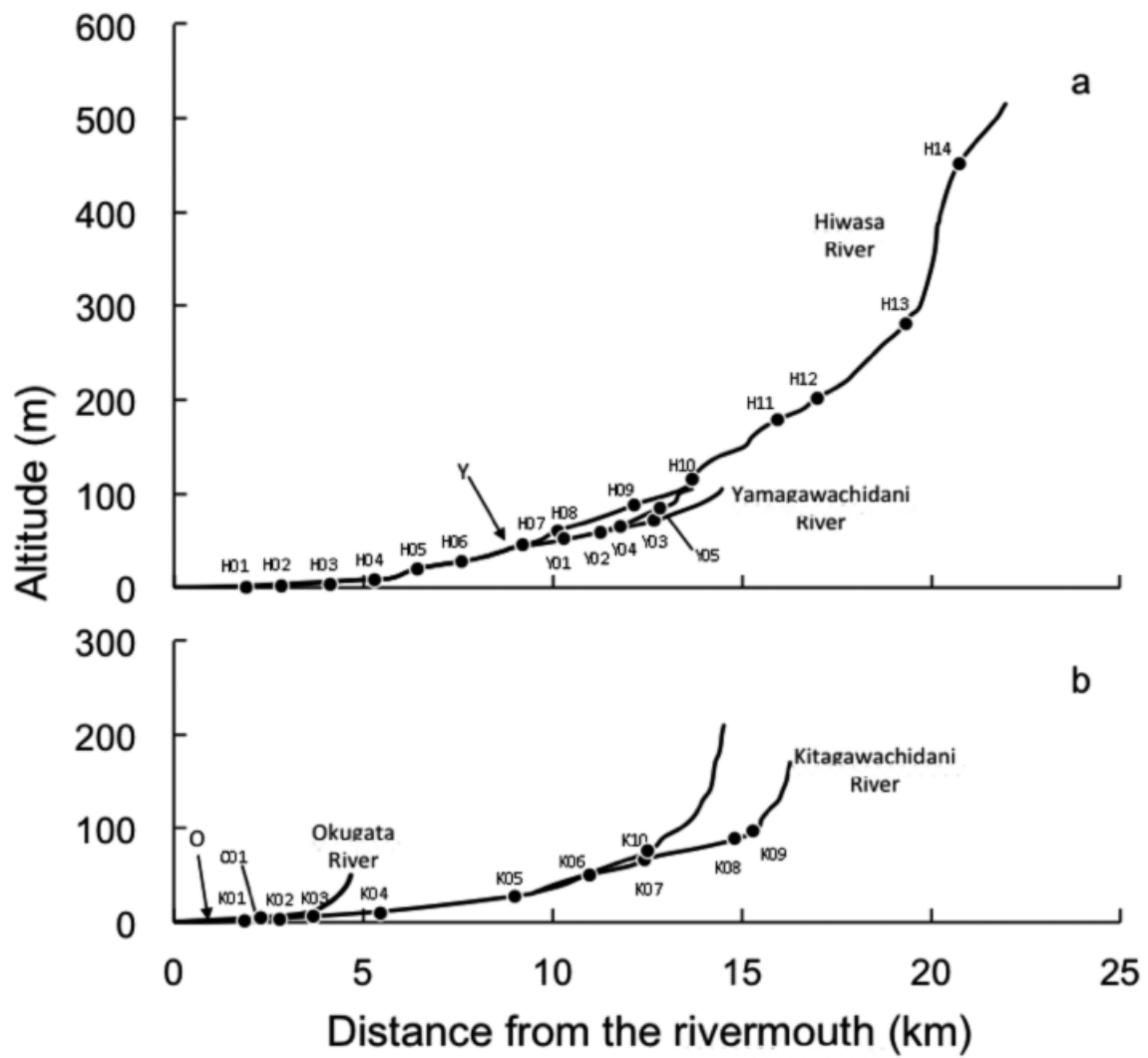


図 4. 研究を行った日和佐川の調査地点（断面図）.

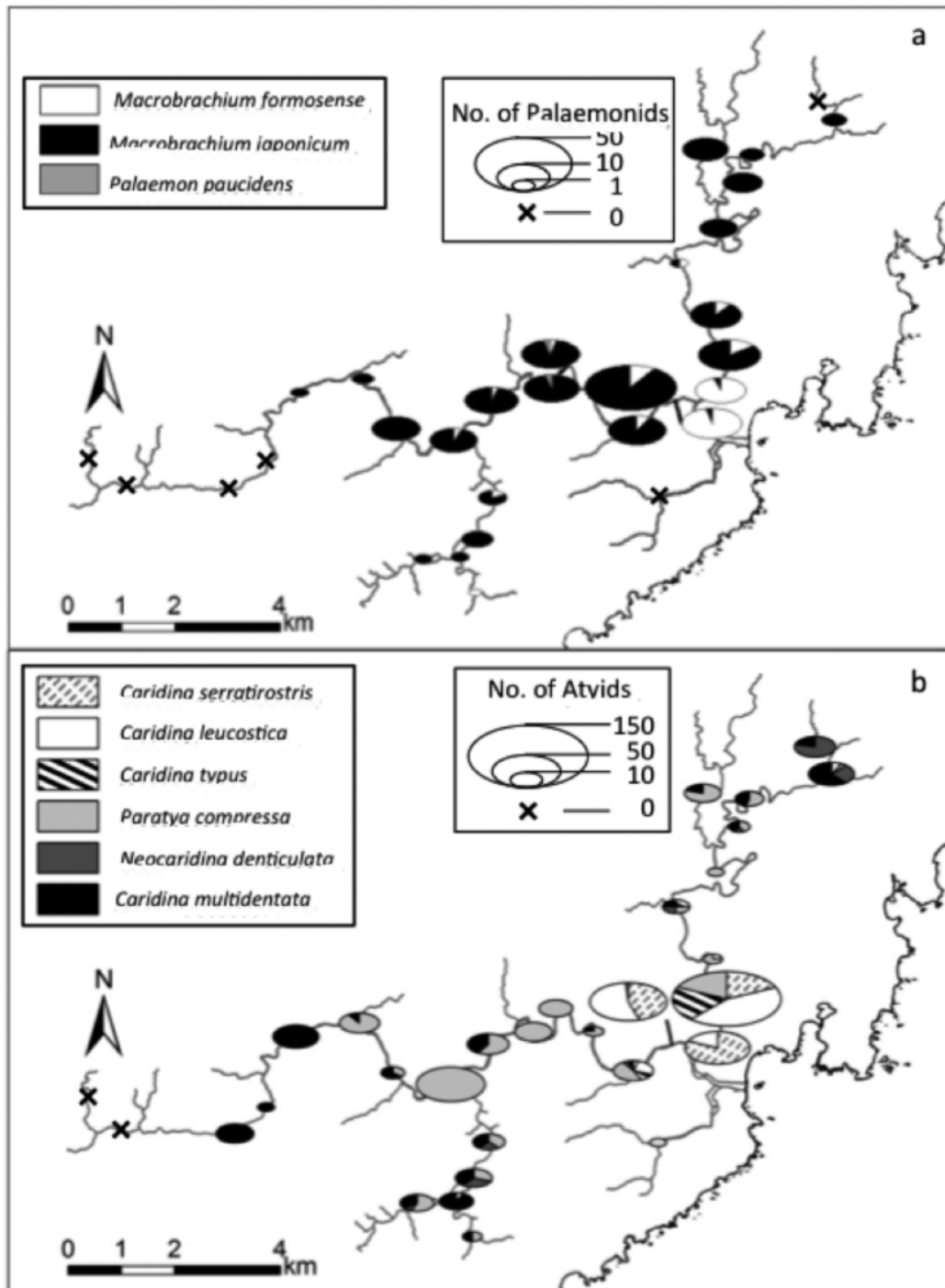


図 5. エビ類のマクロ分布. 上: テナガエビ類、下: スマエビ類.
Macrobrachium formosense ミナミテナガエビ *Caridina serratirostris* ヒメスマエビ
Macrobrachium japonicum ヒラテテナガエビ *Caridina leucosticta* ミゾレスマエビ
Palaemon paucidens スジエビ *Caridina typus* トグナシスマエビ
Paratya compressa スマエビ (南部群)
Neocaridina denticulata ミナミスマエビ
Caridina multidentata ヤマトスマエビ

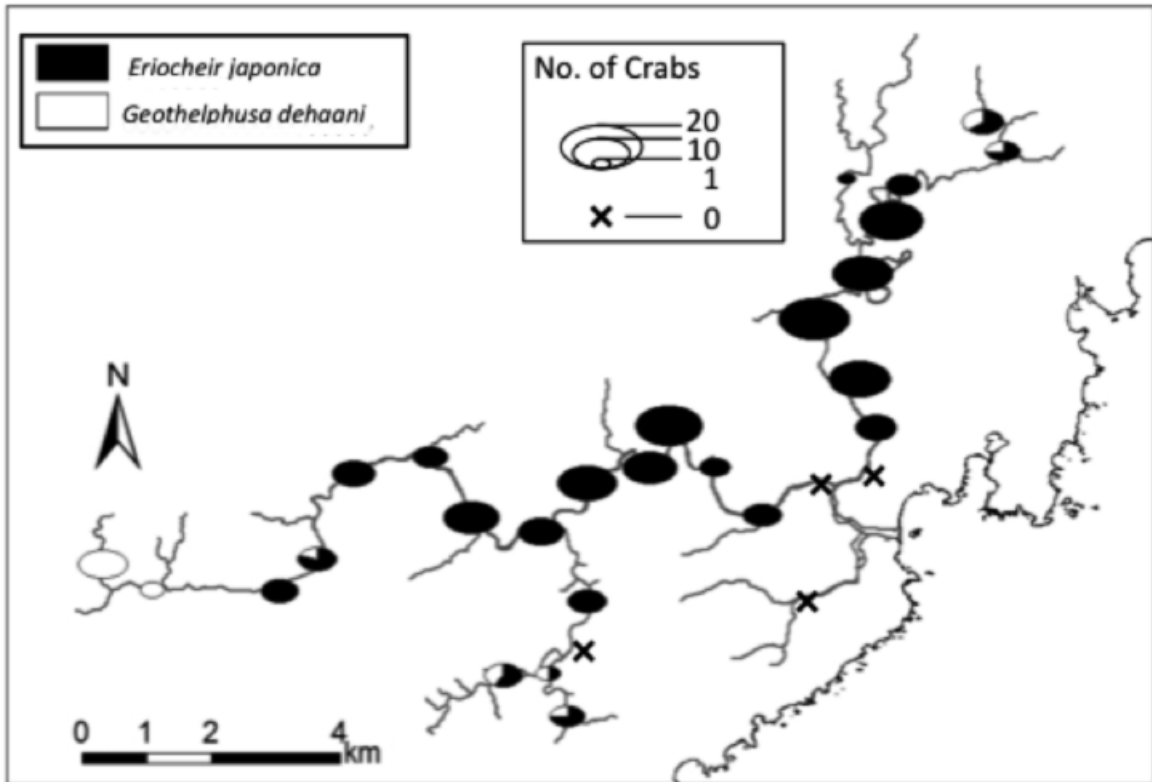


図 6. カニ類のマクロ分布.
Eriocheir japonica モクズガニ
Geothelphusa dehaani サワガニ

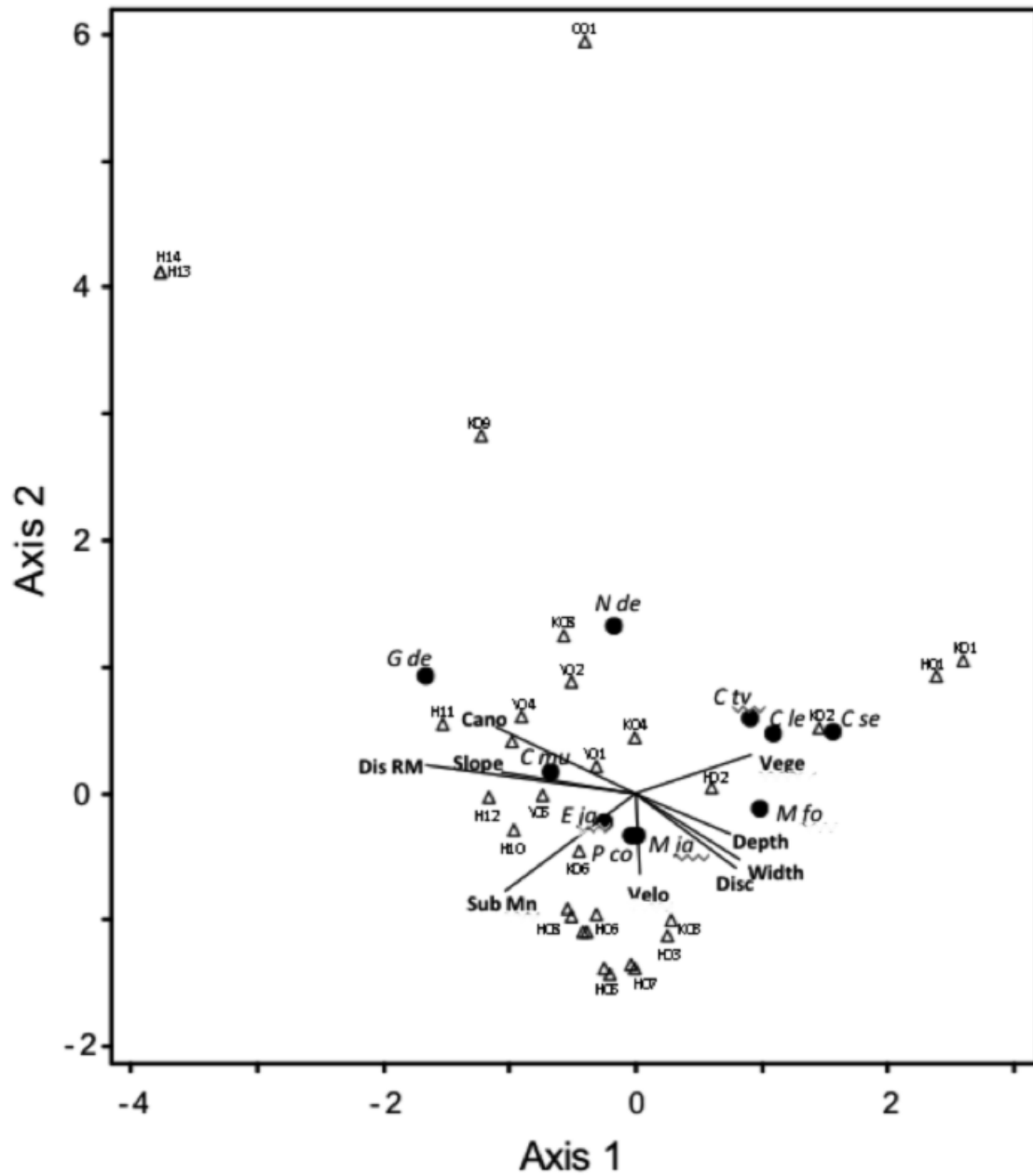


図 7. C C A の結果.

イタリック体の略字は生物の属名先頭 1 文字 + 種名先頭 2 文字.

ゴシックは環境要因.

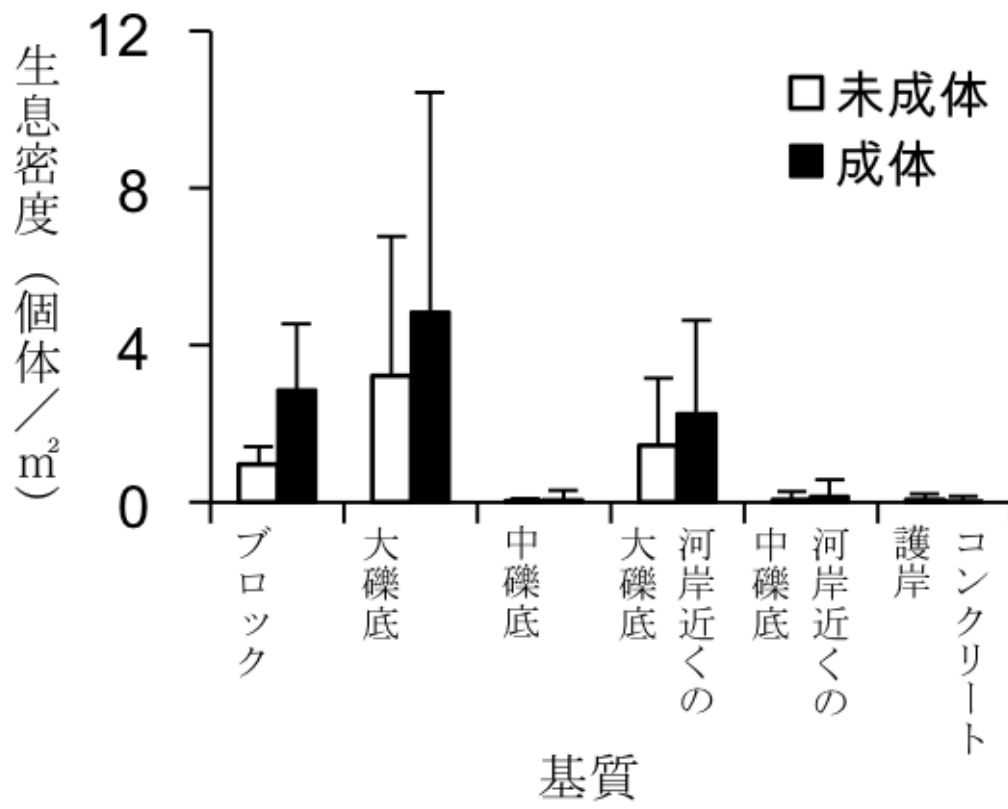


図 8. 汽水域におけるミナミテナガエビの基質選択性.

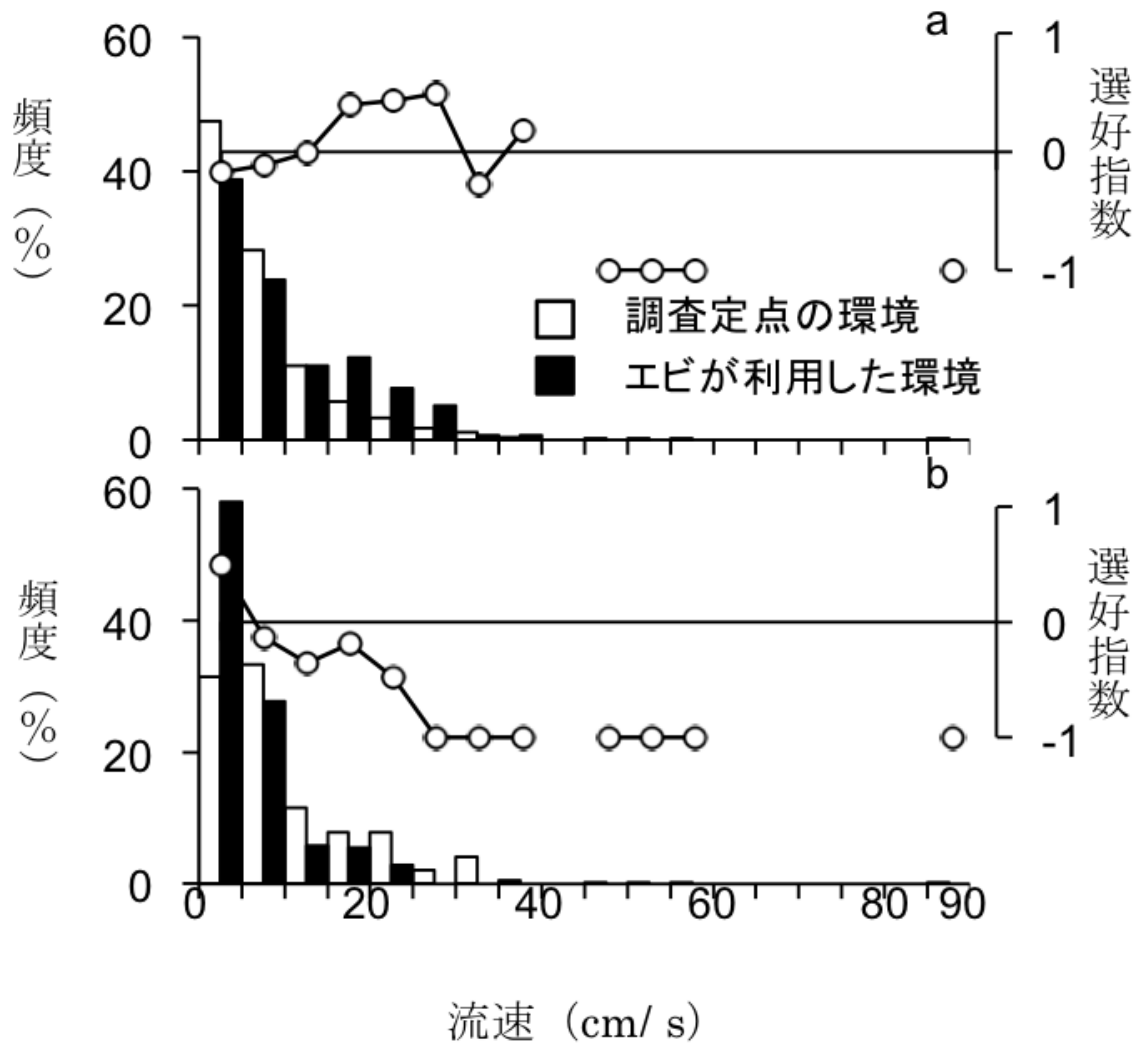


図 9. ヒラテテナガエビ（上）とミナミテナガエビ（下）の流速の選好指数.

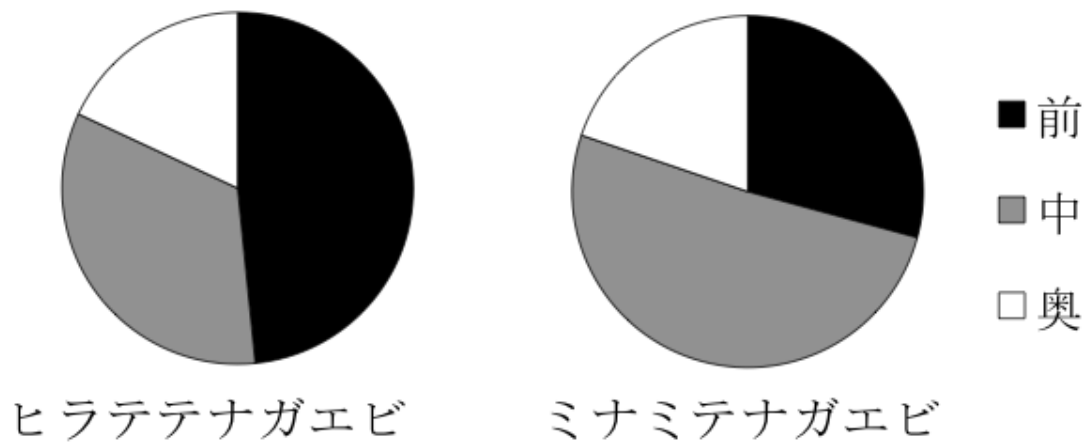


図 10. 間隙に隠れているテナガエビ類の定位位置.

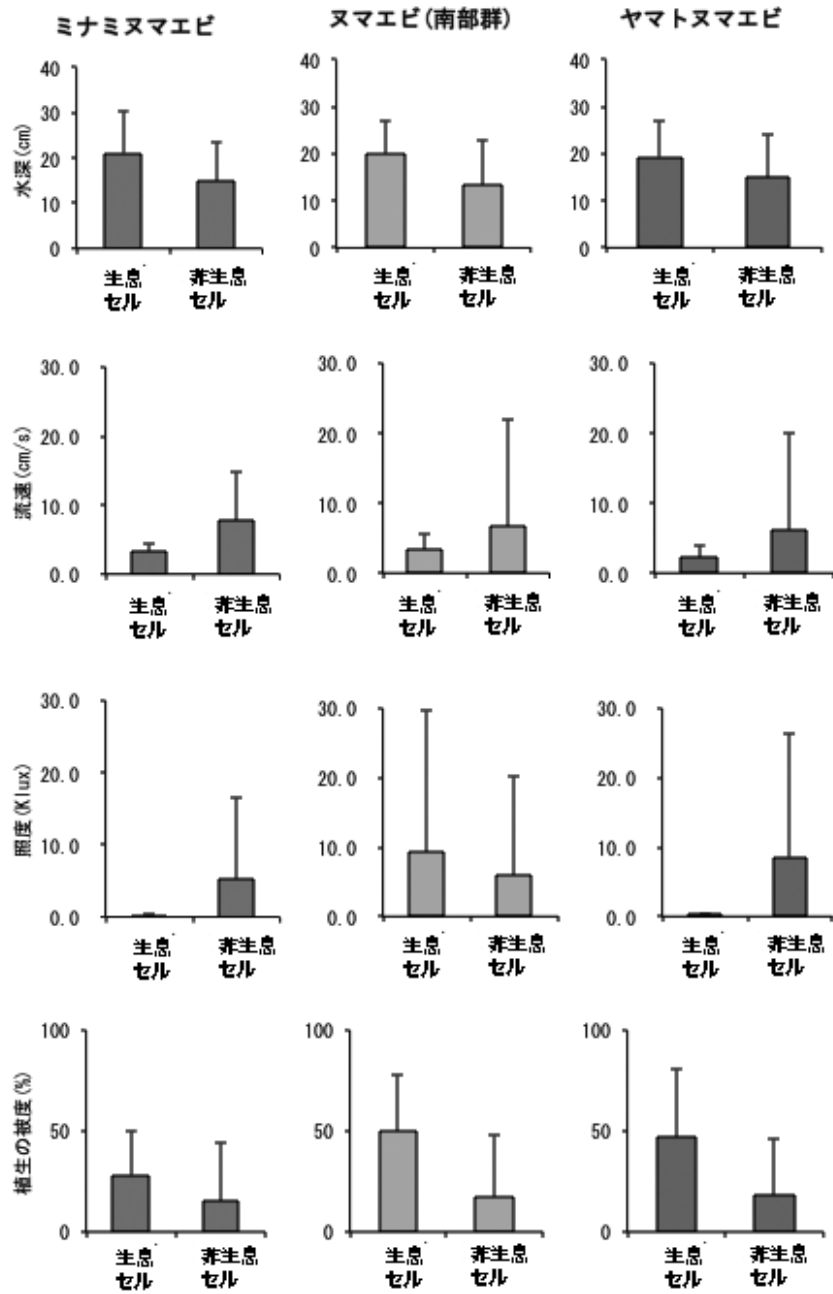
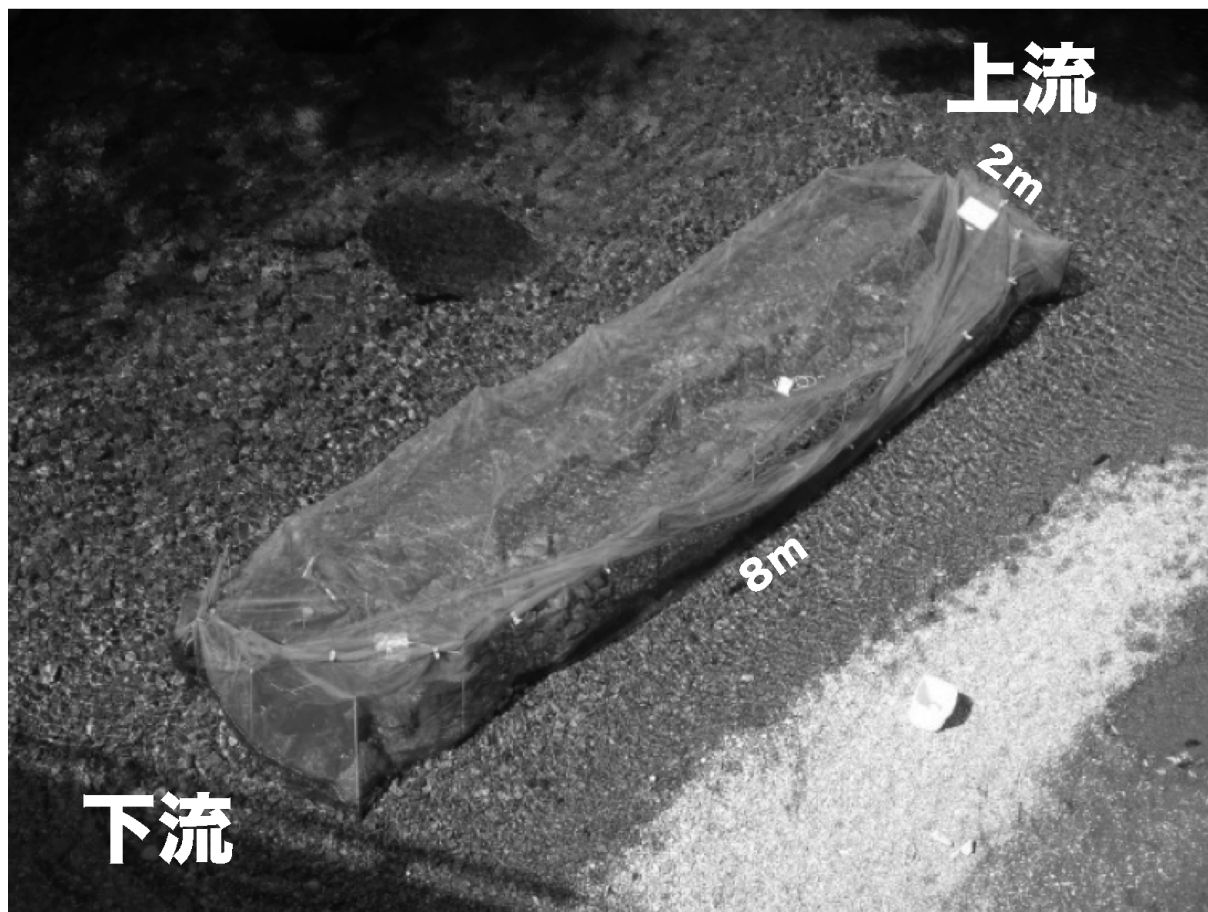


図 11. ヌマエビ類の生息セルと非生息セルの環境。



図 12. ヌマエビ類が特に多く生息する水際.



巨礫・浮き石	流木	上流
中礫	大礫・沈み石	
大礫・浮き石	砂	
落ち葉	巨礫・沈み石	
大礫・沈み石	中礫	
砂	大礫・浮き石	
巨礫・沈み石	落ち葉	
流木	巨礫・浮き石	

図 13. モクズガニの基質選好性実験セット.

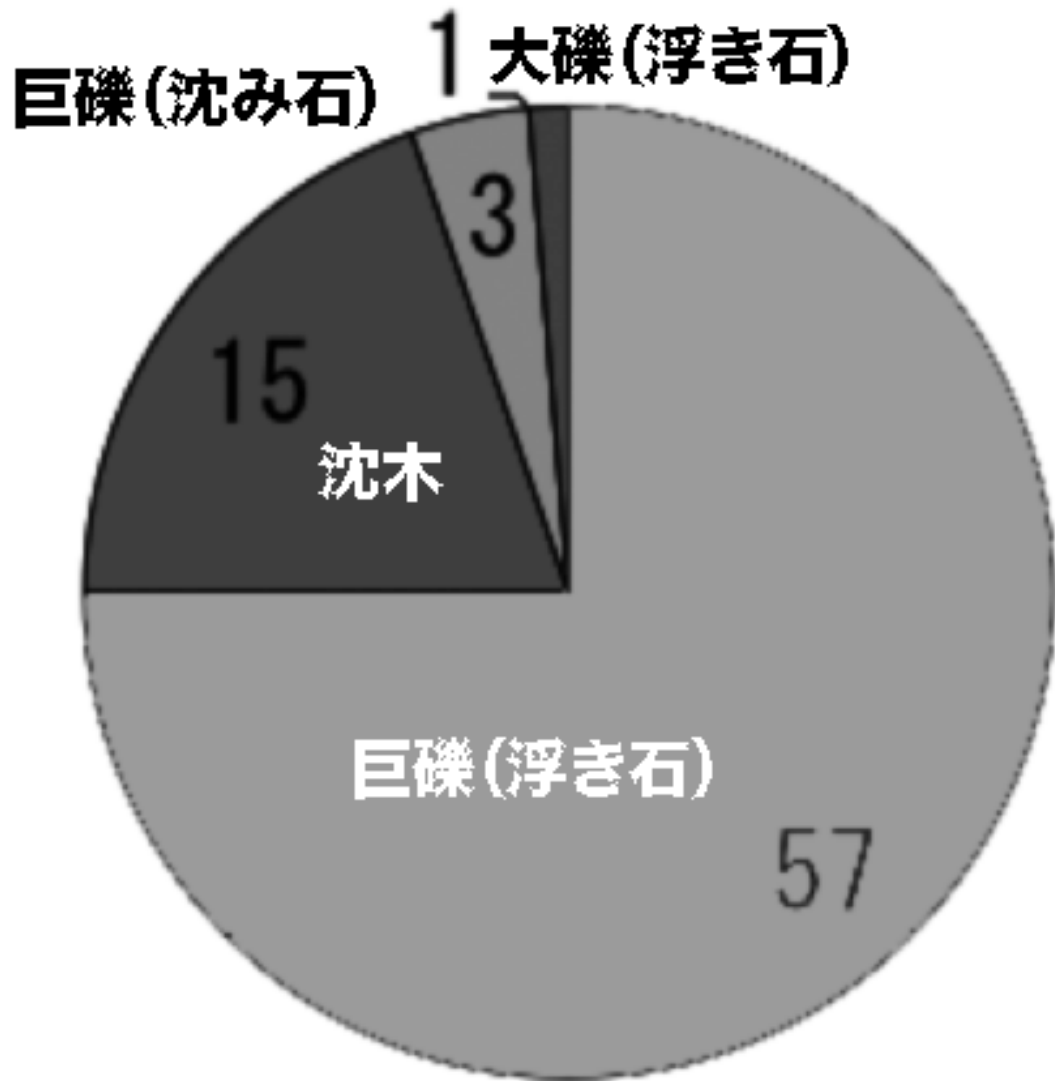


図 14. モクズガニの基質選好性実験の結果.