

両側回遊型甲殻類の生態に着目した 生息空間連続性の評価手法

中田和義* 傳田正利** 三輪準二*** 天野邦彦****

1. はじめに

水域生態系の保全・復元において、河川横断構造物（以下、構造物とする）などによる生息空間連続性の分断化が移動性の水生生物に与える影響が問題となる場合がある。特にアユやサケなどの回遊種を含む魚類を対象とした問題は頻繁に取り上げられ、既往研究でもその対策などに関して多くの調査研究が行われている。しかしながら、河川生態系を構成する移動性のある生物は魚類だけではない。例えば、甲殻類や貝類の中にも多くの回遊種が含まれる。

日本の河川に生息するエビ・カニ類の多くは、成長し繁殖に至るためには河川と海域間の回遊を必要とする。こうした回遊性の甲殻類は、海域や河口域で浮遊幼生期を過ごしたのち、稚エビや稚ガニとなって河川を遡上するため、構造物によって回遊経路が分断されることがある。甲殻類は適切な遡上可能域があれば構造物壁面を歩行遡上できる（図-1）一方で、大型魚類のような優れた遊泳力や跳躍力を持たないので、構造物がもたらす遡上阻害は、魚類とは異なる。したがって、水域の生息空間連続性を保全・復元する上では、魚類に加えて甲殻類に対する配慮も必要となる。

本研究では、アユと同じく両側回遊型の生活史をもつ小型甲殻類であるミゾレヌマエビ（*Caridina leucosticta*）（図-2）に着目した。ミゾレヌマエビは、淡水域中でゾエア幼生としてふ化し、その後幼生は河川を流下する。幼生の発育には塩分が不可欠であるため、汽水・海域へと到達した第1期幼生のみが脱皮成長し、複数のゾエア幼生期を経たのち変態して稚エビとなり、河川を遡上する。ミゾレヌマエビを始めとするヌマエビ類は、一般に生息個体数が非常に多く、魚類の餌として水生昆虫と同等に利用される重要な資源であるとともに、付着藻類や有機物を摂食することで河床浄化にも貢献している¹⁾。このようにヌ

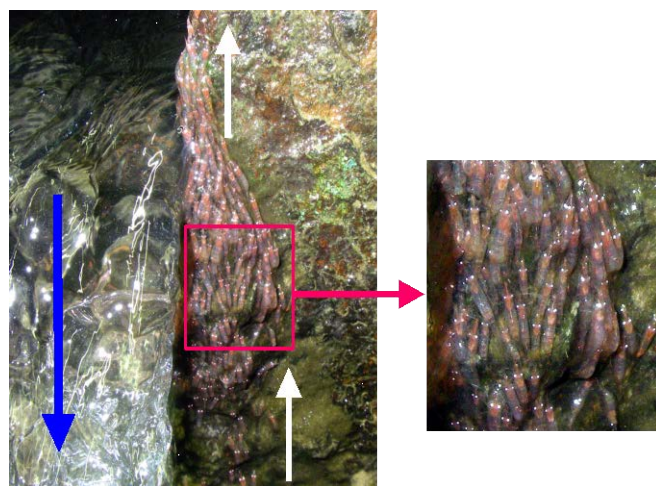


図-1 構造物壁面を夜間に歩行遡上する両側回遊型甲殻類のミゾレヌマエビ。下向きの矢印は水流の方向、上向きの矢印はミゾレヌマエビの遡上方向を示す。



図-2 ミゾレヌマエビ

マエビ類は、河川生態系において重要な生態学的役割を果たすため、水域生態系の保全・復元においては十分な配慮が求められる。しかしながら、既往の関連研究では魚類を対象とした例が多く、甲殻類を対象とした生息空間連続性評価に関する研究例は非常に少ない。

本稿では、筆者らが開発した、両側回遊種のミゾレヌマエビを指標とする河川における生息空間連続性の評価手法²⁾を紹介する。

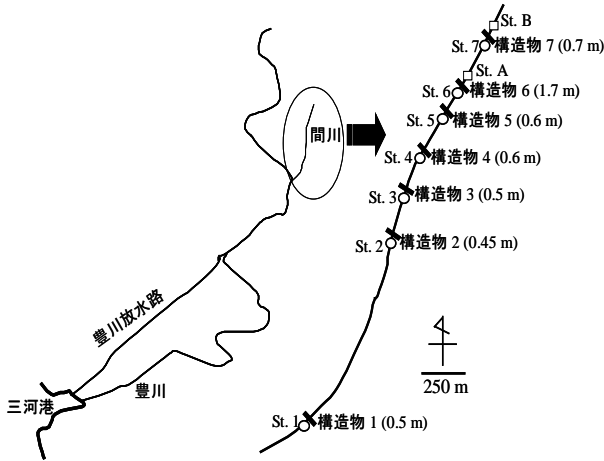


図-3 調査地の概要 (括弧内の値は構造物の落差を示す)



図-4 本研究において調査対象とした構造物 (構造物6)

2. 研究の方法

2.1 調査地の概要とミズレヌマエビの捕獲調査

本研究の調査地は、愛知県豊橋市と豊川市を流れる間川とした。間川は、豊川本川河口部より15.6 km地点の左岸側に流入する流域面積22.6 km²の豊川の支川である (図-3)。間川には、複数の構造物が設置されており、これらの構造物がミズレヌマエビなどの回遊性生物の移動にとって障壁になると予測される。本研究では、豊川本川との合流部から間川の上流に向かって順に7カ所の構造物 (図-3、4) を調査対象とし、構造物がミズレヌマエビの遡上に及ぼす影響について検討した。

ミズレヌマエビの遡上期は8～11月であり、この期間の遡上個体は、遡上が阻害されなければ基本的には夜間に遡上し続ける。本研究では、2007年10月に、構造物のすぐ下流側に調査地点を設定し (図-3)、ミズレヌマエビの分布調査を実施した。調査では、構造物下流の直近に繁茂する植生帯の約20 m²の範囲において、1名が10分間、タモ網を用いて甲殻類の採集を行った。

2.2 ミズレヌマエビの生息空間ネットワーク評価モデルの概要

2.2.1 構造物の物理環境特性の指標化：遡上適性値の算出

ミズレヌマエビの遡上行動に影響すると考えられる構造物の物理環境特性として、構造物の落差 (m)、構造物直下の水深 (cm)、構造物直上の左岸および右岸の流速 (cm/s) と水深 (cm) に着目して測定した。そして、これらの物理環境特性を変数として、ミズレヌマエビによる構造物の遡上しやすさについて評価する指標を作成した。

まず、各物理環境特性と捕獲個体数の逆数でヒストグラムを作成した。作成した各物理環境特性に関するヒストグラムについて、捕獲個体数の逆数の最大値で標準化し、捕獲個体数の逆数の最大値を1とする遡上適性値^{*} (Migration Index; 以下、MIとする) を算出した。なお、捕獲個体数の逆数を用いた理由は、捕獲個体数が少ないほど遡上しやすいとの評価値にするためである。

次に、作成したMIをもとに、構造物の総合的な遡上しやすさを評価する合成遡上適性値^{*} (Composite Migration Index; 以下、CMIとする) を各構造物について算出した。CMIの算出では次の式を用いた。

$$CMI = (MI_d \times MI_{rd} \times MI_{ld} \times MI_{rv} \times MI_{lv} \times MI_h)^{1/6}$$

ただし

- MI_d : 構造物直下流の水深に関する遡上適性値
- MI_{rd} : 構造物上の右岸側水深に関する遡上適性値
- MI_{ld} : 構造物上の左岸側水深に関する遡上適性値
- MI_{rv} : 構造物上の右岸側流速に関する遡上適性値
- MI_{lv} : 構造物上の左岸側流速に関する遡上適性値
- MI_h : 構造物の落差に関する遡上適性値

2.2.2 グラフ理論を用いた生息空間ネットワーク評価モデルの概要

調査地の河川区間と構造物から特徴づけられる生息空間ネットワーク (以下、NWとする) についてモデル化した。この場合、構造物をNWの遡上経路、CMIを重み係数とし、CMIの値を遡上成功率として用いた。図-5に本研究で採用したモデルの概要を例示する。このモデルでは、既往研究による知見と著者らによる野外調査の結果に基

^{*}土木用語解説：遡上適性値、合成遡上適性値

づき、ミズレヌマエビの遡上行動に関する条件を次のように設定した。本モデルは、NW下流側からの移入個体数を定常状態と非定常状態の場合に分けて作成し、両者の再現値を比較した。

定常状態の場合では、NWの下流端からは1日当たり100個体のミズレヌマエビが移入すると仮定した。ここでの移入個体数は、ミズレヌマエビの遡上期における1日当たりの平均遡上個体数と位置づけ、1日当たりの遡上数は一定であるとした。また、NWの上流端では、滞留する遡上個体がすべて移出するとした。ただし、移出個体数は1日当たり最大で100個体と設定したため、それ以上の遡上数があった場合には差分が残留する(図-5)。

一方、非定常状態の場合では、遡上期におけるヌマエビ類 (*Atya spp.*) の遡上個体数の変動に関する既往の知見を参考にし、下流端からの移入個体数と上流端からの移出個体数が正弦曲線 ($N = 100|\sin(\text{day}/28)| + 30$) に従って28日1周期で変動すると仮定した。

本研究では、遡上開始90日後の相対的個体数を算出し、モデルによる90日後の推定結果と現地調査の結果を比較することで、本モデルによるミズレヌマエビの遡上状態評価の再現性を検討した。なお、相対個体数を算出して現地調査結果と比較した理由は、野外におけるミズレヌマエビの移入個体数についての知見が乏しいため、モデルでは仮に1日当たり100個体が下流側から遡上すると仮定を設けていること、さらには現場での調査結果による捕獲個体数がそれぞれの構造物の登りにくさを示していると考えられるため(登りにくい構造物ほど、構造物直下に滞留する個体数は多くなる)、野外での実測値がモデル計算の検証に利用できると思ったためである。また、モデルによる算出結果を90日後とした理由は、現地調査を遡上開始約90日後に実施したためである。

3. 結果

3.1 調査地におけるミズレヌマエビの分布

St. 1~2および4~6では、200個体を超える多数のミズレヌマエビが捕獲された。捕獲個体数が最大だったのは、St. 5であった(761個体)。図-6には、捕獲数が最大の地点の個体数を1として標準化した相対的な個体数を示している。一方、St. 3においては、ミズレヌマエビの個体数は82

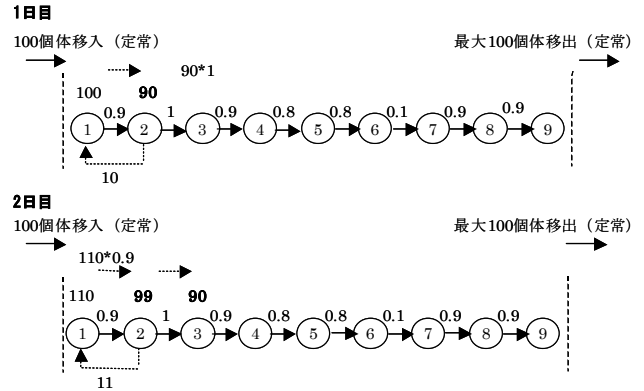


図-5 間川におけるミズレヌマエビの遡上経路NW評価の概要
○は生息空間、矢印は遡上経路(構造物)、矢印上の値はCMIを示す(移入・移出個体数が定常状態の場合の例、CMIは仮値)。

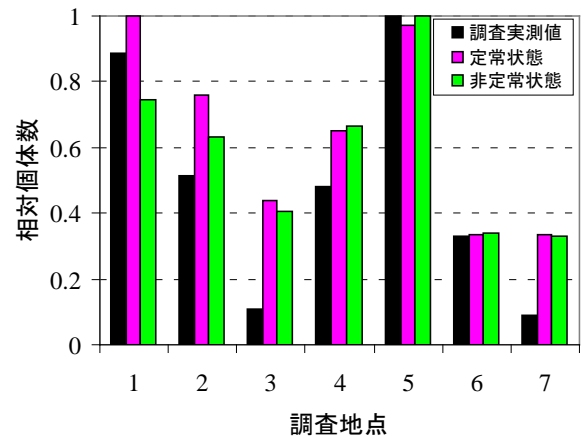


図-6 野外調査実測値とモデル算出値による相対個体数の比較

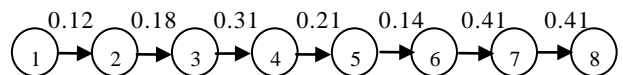


図-7 CMIの算出結果に基づく調査地の生息空間NW
○は生息空間、矢印は遡上経路、矢印上の値はCMIを示す。

個体であり、落差1.7 mの構造物6より下流側に位置するSt. 1~6の中では、捕獲個体数が最も少なかった。また、St. 7で捕獲されたミズレヌマエビの個体数は68個体であり、構造物直下の調査地点の中では個体数が最も少なかった(図-6)。

3.2 モデルによるミズレヌマエビの遡上状態評価

CMIの算出結果は、図-7のとおりであった。モデルによるミズレヌマエビの遡上状態評価の結果として、遡上を開始してから90日後の相対的個体数を図-6に示す。モデルによる再現結果は、移入個体数が定常・非定常数のいずれの場合であっても、野外調査の捕獲結果と同様の分布パターンを示した。特に、St. 1からSt. 3にかけて推定個

体数が減少している点と、St. 4からSt. 5にかけて個体数が増加する点を良好に再現した（図-6）。

4. まとめ

河川横断構造物による生息空間分断化の指標生物では、従来は魚類が主な対象生物として扱われてきた。しかしながら、構造物による生息空間分断化の影響を受ける生物は、魚類のみならず、両側回遊型の甲殻類も含まれる。このため、構造物がもたらす生息空間分断化の改善策を検討する上では、魚類に加えて、ミゾレヌマエビなどの甲殻類に対しても十分に配慮することが望まれる。それにより、多様な生物が生息する生息空間NWの保全・復元が可能になる。また、ミゾレヌマエビの遡上に対する構造物の影響を緩和することは、構造物においてミゾレヌマエビと類似した遡上生態をもつ底生魚類のウナギ (*Auguilla japonica*) などの遡上行動への配慮にもつながる場合が多いと考えられる。したがって、ミゾレヌマエビを始めとする両側回遊性ヌマエビ類は、移動性を有する底生生物（甲殻類、魚類、貝類など）の生息空間連続性の保全・復元を検討する上での指標生物として、有効になりうると考えられる。

本研究からは、現場では得ることが難しい情報（遡上数など）のために十分なデータが得られていない場合であっても、モデルと現場観測によって重要な情報が得られることが示された。さらには、モデルと現場観測を組み合わせることで、河川環境と生態系との関係について考察を深めることも可能になると考えられた。このような取り組みは、甲殻類のみならず、他の生物を対象とした研究においても応用することが可能と考えられる。

最後になるが、本稿では、間川のような単純なNW構造を対象に作成した評価モデルを紹介した。

このモデルは、例えば水田－水路－河川間の農業水路網などの、より複雑なNW構造を有する生息空間の連続性評価に応用することも可能である。筆者らによる最近の調査研究から、ミゾレヌマエビは河川から農業水路に遡上し、水路を生息場所として利用することが明らかとなった³⁾。そこで筆者らは現在、河川－農業水路NWに遡上するミゾレヌマエビなどの両側回遊型甲殻類を対象に、生息空間NW評価モデルの開発を進めているところである⁴⁾。

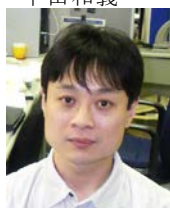
謝 辞

本研究は、文部科学省科学技術振興調整費研究「伊勢湾流域圏の自然共生型環境管理技術開発」の一環として実施した。

参考文献

- 1) March, J. G., Pringle, C. M., Townsend, M. J. and Wilson, A. I.: Effects of freshwater shrimp assemblages on benthic communities along an altitudinal gradient of a tropical island stream, *Freshwater Biology*, Vol. 47, pp. 377-390, 2002.
- 2) 中田和義、中西 哲、傳田正利、天野邦彦、小林草平、藤原正季、浜野龍夫：両側回遊型甲殻類の生態に着目した生息空間連続性評価手法の開発、河川技術論文集、15巻、pp. 31～36、2009.
- 3) Nakata, K., Amano, K., Denda, M., Miwa, J. and Hamano, T.: Effects of habitat fragmentation on the amphidromous freshwater shrimp *Caridina leucosticta* (Decapoda, Atyidae) in a rice paddy drainage channel, *Crustaceana*, Vol. 83, 2010. (in press)
- 4) 中田和義、傳田正利、三輪準二、天野邦彦、浜野龍夫：河川－農業水路ネットワークにおける両側回遊型甲殻類の個体群存続可能性評価手法の開発、河川技術論文集、16巻、pp. 465～470、2010.

中田和義*



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河川生態チーム専門研究員、博士（水産科学）
Dr. Kazuyoshi NAKATA

傳田正利**



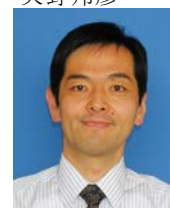
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所水環境研究グループ河川生態チーム主任研究員、博士（工学）
Dr. Masatoshi DENDA

三輪準二***



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河川生態チーム上席研究員、修士（工学）
Junji MIWA

天野邦彦****



国土交通省国土技術政策総合研究所環境研究部河川環境研究室長、博士（工学）
Dr. Kunihiko AMANO