

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

ASSESSMENT OF HABITAT NETWORK FOR AMPHIDROMOUS FRESHWATER SHRIMPS

中田和義¹・中西 哲²・傳田正利³・天野邦彦³・
小林草平⁴・藤原正季²・浜野龍夫⁵

Kazuyoshi NAKATA, Satoru NAKANISHI, Masatoshi DENDA, Kunihiko AMANO,
Sohei KOBAYASHI, Masaki FUJIWARA and Tatsuo HAMANO

¹正会員 博 (水産) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 修 (工) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム

³正会員 博 (工) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム

⁴博 (農) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム

⁵農博 徳島大学大学院ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部 (〒770-8502 徳島県徳島市南常三島町1-1)

Conservation of habitat networks is important to conserve and restore aquatic systems. Especially for migrating species, habitat fragmentation may cause extinction of local populations. In this study, we made a field investigation of the distribution of the amphidromous freshwater shrimp *Caridina leucosticta* in Aida River, Aichi, Japan, to clarify the effects of river weirs on the migration of this shrimp. Also we developed a method of habitat network assessment for this shrimp by applying graph theory. The distribution pattern of this shrimp simulated by our method was very similar to this shrimp distribution observed in the field investigation. Thus, we conclude that our assessment method can simulate habitat networks with high accuracy. We discuss the development potential of this assessment method for habitat networks by applying graph theory and the application of this method for conservation and restoration of habitat networks.

Key Words: amphidromous freshwater shrimps, artificial structure, graph theory, habitat network, migration

1. はじめに

生息空間の分断化は、生物の個体群の存続に対し様々な負の影響をもたらす場合がある¹⁾。このため、生息空間の連続性を維持することは、生物の個体群の保全において重要となる。生息空間の連続性を効率的に保全・復元する上では、生息空間連続性の状態が生物の移動に与える影響を定量的に評価する必要がある。この手法として有力なもの1つが、情報科学のアルゴリズムとして用いられるグラフ理論である。

グラフ理論は、ネットワークを点 (Node) と枝 (Branch) の比較的単純なシステムとして表記し、その接続状態による経路を探索し、とりうる経路の複雑性、最短距離、最小コストでの目的地到達などの分析を行う手法である²⁾。生息空間の連続性保全にグラフ理論を

適用する場合には、Nodeが生息空間、Branchが移動経路にあたる。既往研究では、グラフ理論の利便性に着目して生息空間の連続性を評価し、生息空間が連続することの重要性について示している例がある^{3) 4)}。これらの研究は生息空間の連続性が生物に与える影響の大きさを定量的に示しており、グラフ理論による生息空間連続性評価の有効性・利便性を明示している。

グラフ理論は、既往研究で着目されたBranchによるNode間の接続の有無のみならず、Branchを通過するのに必要なコストを評価し、ネットワーク全体の通過量を評価できるという特性を有する。この特性を生息空間の連続性評価に適用すると、Branchの接続状況は、生息空間間の移動成功率や移動コストなどを示すと考えられる。こうした特性を利用すれば、グラフ理論による生息空間連続性の評価手法をさらに発展させられる可能性がある。水域生態系の保全・復元においては、河川横断構造

物などによる生息空間連続性の分断化が移動性の生物に及ぼす影響が問題となる場合がある。特に、アユ・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、既往研究でも活発な調査研究が行われている^{5) 6)}。しかしながら、水域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などの中にも回遊種が含まれる。

日本の河川に生息するエビ・カニ類の多くが、河川と海域を往復しなければ繁殖できない「通し回遊型」の生活史を有する。こうした通し回遊型の甲殻類は、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⁷⁾、河川横断構造物によって回遊経路が分断されることがある⁸⁾。甲殻類は構造物壁面を歩行遡上できる⁹⁾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ため、構造物がもたらす遡上阻害は、魚類とは異なる^{9) 10)}。したがって、生息空間の連続性を保全・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。

本研究で着目したミゾレヌマエビ (*Caridina leucosticta*) は、本州中部以南の多くの河川で普通に見られる体長2~3 cm程度の小型甲殻類であり、比較的大きな河川の中下流域の水際や水中に植物が繁茂している場所に多産する¹¹⁾。本種は両側回遊型の生活史をもつ。すなわち、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が、そ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をし、複数のゾエア幼生期を経たのち変態して稚エビになり、河川を遡上する^{7) 12) 13)}。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¹⁴⁾。このようにヌマエビ類は、河川生態系において重要な役割を果たすため、水域生態系の保全・復元においては、魚類とともに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^{5) 6)}、甲殻類の生息空間連続性の評価に関する研究例は少ない。

そこで本研究の目的は、両側回遊型甲殻類のミゾレヌマエビを河川横断構造物による生息場所分断化の指標とし、グラフ理論を用いて、生息空間連続性の評価手法を開発することとした。

2. 研究の方法

(1) 調査地の概要

本研究の調査対象河川は、愛知県豊橋市と豊川市を流れる間川とした。間川は、豊川本川の河口より15.6 km地点の左岸側に流入する流域面積22.6 km²の支川である。

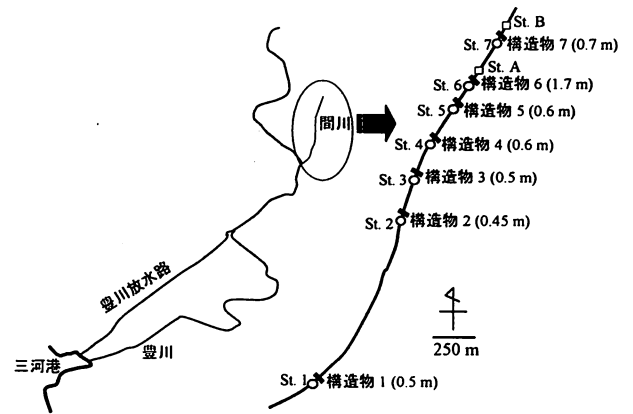


図-1 間川における調査地点の概要
(括弧内の値は構造物の落差を示している)

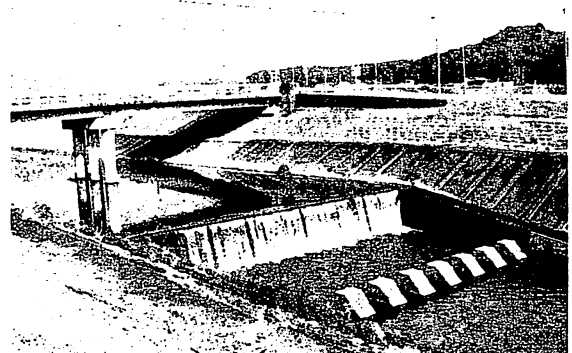


図-2 本研究において調査対象とした構造物 (構造物6)

豊川流域には複数種の通し回遊型甲殻類が分布しており、特にミゾレヌマエビが多産する(中田ら 未発表)。ミゾレヌマエビは間川にも多数生息しており、夏から秋にかけて、豊川本川下流域から遡上してきた稚エビが間川を移動経路として選択し上流側へと遡上する(中田ら 未発表)。

間川には、河床を安定させるための複数の河川横断構造物(以下、構造物とする)が設置されており、これらの構造物がミゾレヌマエビなどの回遊性生物の移動にとって障壁になりうると予測される。本研究では、豊川本川との連結部から間川の上流に向かって順に7カ所の構造物を調査対象とし(図-1, 2)、構造物がミゾレヌマエビの遡上に及ぼす影響について検討した。構造物の位置や落差の概要は、図-1のとおりである。構造物1~5と7の落差は0.45~0.7 mであるが、構造物6の落差は1.7 mに達し、他の構造物に比べ落差が2倍以上あり、生物の移動に及ぼす影響がより大きいと予測される。なお、構造物の基本構造については、調査対象とした7カ所の構造物間に大きな違いはなかった。

(2) ミゾレヌマエビの捕獲調査

構造物のすぐ下流側に調査地点を設定し(図-1)、ミゾレヌマエビの分布調査を実施した。調査は2007年10月31日の日中に行った。微少な時間断面での空間分

布を把握するために、調査は短期間で終わることにした。なお、ミゾレヌマエビは夜行性であるため^{9, 10}、調査中には遡上行動中の個体はいなかったと考えられる。

調査では、構造物下の直近に繁茂する植生帯（主にヨシまたはツルヨシ）の約20 m²の範囲において、1名が10分間（2名の場合は5分間）、タモ網（網目3.5 mm、幅39 cm、深さ28 cm）を用いて生息生物を捕獲した。なお、落差1.7 mの構造物6については、ミゾレヌマエビの遡上に及ぼす影響が大きいと予測し、構造物6と7では上流側の直近の植生帯においても同様の捕獲調査を実施した（図-1のSt. A, B）。採集された甲殻類は、標本瓶に入れて10%ホルマリンで固定し、実験室に持ち帰った。そして、浜野ら¹¹の検索表に基づき実体顕微鏡下で種同定を行い、ミゾレヌマエビを抽出した。

なお、両側回遊種の生息空間別個体数は河口からの距離に応じて減少すると考えられるが、本研究における調査範囲は約2.5 kmと狭く、豊川本川においては河口より25 km地点付近までミゾレヌマエビが個体数を大きく減少させずに遡上することが確認されているため（中田ら未発表）、河口からの距離が各生息空間のミゾレヌマエビの個体数に及ぼす影響はないものとみなした。

(3) ミゾレヌマエビの遡上状況と構造物による影響の評価

a) 構造物の物理環境特性の指標化：遡上適性曲線の作成

本研究の調査では、上述のとおり構造物直下流でミゾレヌマエビを採捕している。この採捕データは、構造物の遡上しやすさの影響を受けていると考えられる。すなわち、遡上が難しい構造物の下流には、遡上に失敗したミゾレヌマエビが滞留し、捕獲個体数が多くなる。一方、遡上が容易な構造物の下流には、ミゾレヌマエビが過剰に滞留しないと考えられる。そこで、以下の手順で、構造物下流の採捕データと構造物の物理環境特性との関係を解析した。

対象とした物理環境については、エビの遡上行動に与える影響が大きいと考えられる構造物特性^{9, 10}として、構造物の落差 (m)、構造物下の水深 (cm)、構造物直上の右岸および左岸側の水深 (cm) と流速 (cm/s) 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、ミゾ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。なお、構造物直上の物理環境特性として、流心ではなく右岸と左岸に着目した理由は、ミゾレヌマエビが構造物を遡上する際に、遡上経路として流心を選ばずに、水際を選択的に遡上することが知られているためである^{9, 10}。また、構造物直上の物理環境条件は、構造物直上部に到達した遡上個体にとっての上流側への移動成功率に強く影響すると考えられる。

指標の作成では、Physical Habitat Simulation Model (PHABSIM) で用いられる Suitability Index を参考とした (PHABSIMの概要については、例えば浜野ら⁹で紹介されている)。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。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。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とする遡上適性曲線 (Migration Index ; 以下、MIとする) を作成した。

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 (1) を用いた。

$$CMI = (MI_d \times MI_{rwd} \times MI_{lwd} \times MI_{rv} \times MI_{lv} \times MI_h)^{1/6} \quad (1)$$

ただし

MI_d : 構造物直下流の水深に関する遡上適性度

MI_{rwd} : 構造物上の右岸側水深に関する遡上適性度

MI_{lwd} : 構造物上の左岸側水深に関する遡上適性度

MI_{rv} : 構造物上の右岸側流速に関する遡上適性度

MI_{lv} : 構造物上の左岸側流速に関する遡上適性度

MI_h : 構造物の落差に関する遡上適性度

b) 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、グラフ理論を用いてモデル化した。この場合、構造物をNWの経路、CMIを重み係数とし、CMIの値を遡上成功率として用いた。本研究のモデルでは、生息空間NW評価手法開発の第一段階として、Branchに適切な値を与えることで各Nodeにおける一定日数後のミゾレヌマエビの相対的な個体数を再現することを目標とした。

図-3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^{9, 10}と著者らによる野外調査の結果（中田ら未発表）に基づき、ミゾ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（一定個体数移入）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個体のミゾレヌマエビが移入する。ここでの移入個体数は、ミゾ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Node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-3）。

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Kikkertら¹⁵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。

定常・非定常状態の場合ともに、下流からのミゾレヌマエビの移入後、ミゾレヌマエビは1番Nodeに一時的に滞留し、上流側へ遡上を行う。この場合、下流側のNodeのミゾレヌマエビが1日1回は遡上行動を開始し、1日に1Nodeだけ遡上を試みる。遡上を試みたミゾレヌマエビは、「a) 構造物の物理環境特性の指標化：遡上適性曲線の作成」で算出したCMIにより、遡上成功個体数が変化する(図-3)。

以上の条件設定に基づく処理を各BranchとBranchの両端Nodeに繰り返し、一定日数後の各Nodeにおけるミゾレヌマエビの相対的な個体数を推定した。なお、本研究の現地調査時期が10月末であったのに対し、ミゾレヌマエビの遡上が主に8月に開始され11月にかけて続く^{16), 17)}ことから、本研究では90日後の相対的な個体数を算出した。そして、グラフ理論による90日後の推定結果と現地調査の結果を比較し、グラフ理論によるミゾレヌマエビの遡上状態評価の再現性を検討した。

3. 結果

(1) 調査地におけるミゾレヌマエビの分布

St. 1~2および4~6では、200個体を超える多数のミゾレヌマエビが捕獲された(図-4)。捕獲個体数が最大だったのは、St. 5であった(761個体)。一方、St. 3においては、ミゾレヌマエビの捕獲個体数は82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で捕獲されたミゾ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捕獲個体数が最も少なかった(図-4)。なお、構造物6と7の直上流におけるミゾレヌマエビの捕獲個体数は、構造物6直上のSt. Aで49個体、構造物7直上のSt. Bでは15個体であった。

(2) 構造物直下流のミゾレヌマエビの個体数と構造物特性との関係性評価

表-1にCMIの算出結果を示す。CMIは、構造物3, 6, 7では高く、0.3以上のCMIとなった。一方、構造物1, 4, 5では低く、約0.1のCMIとなった。以上のCMIの結果からBranchの値を決定し、調査地の生息空間NWを図-5に示すように設定した。

(3) グラフ理論によるミゾレヌマエビの遡上状態評価

グラフ理論を用いたミゾ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日後の相対的な個体数を図-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(図-4)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

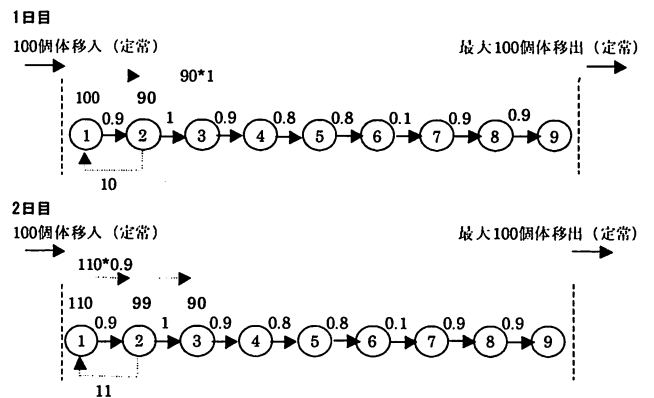


図-3 間川におけるミゾレヌマエビの遡上経路NW評価の概要(移入・移出個体数が定常状態の場合の例。CMIは仮値)

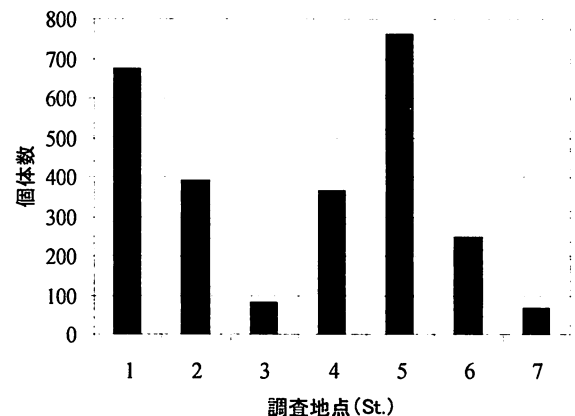


図-4 野外調査で捕獲されたミゾレヌマエビの個体数

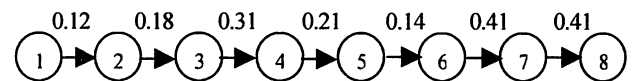


図-5 CMIの結果に基づく調査地の生息空間NW

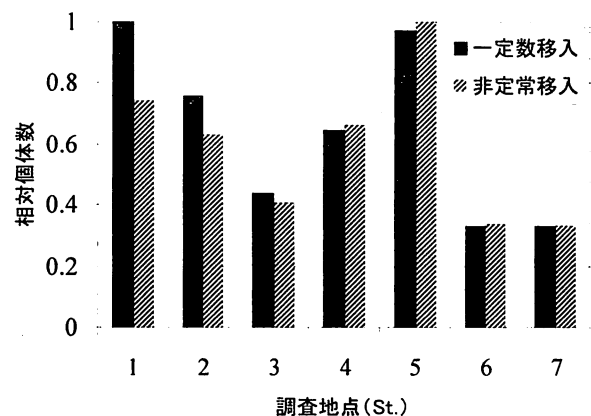


図-6 グラフ理論によるミゾレヌマエビの遡上状態評価の結果

表-1 構造物1~7のCMIの算出結果

構造物	MI_d	MI_h	MI_{rd}	MI_{wd}	MI_{rv}	MI_{vy}	CMI
1	0.37	0.09	0.28	0.05	0.12	0.05	0.12
2	0.19	0.17	0.28	0.21	0.11	0.17	0.18
3	0.19	0.09	0.28	1.00	1.00	0.20	0.31
4	0.68	0.06	0.28	0.05	0.11	0.19	0.21
5	0.19	0.06	0.28	0.05	0.10	0.05	0.14
6	1.00	0.27	1.00	0.26	0.33	0.20	0.41
7	0.19	1.00	1.00	0.26	0.10	1.00	0.41

に再現した。一方、野外調査の実測値ではSt. 6からSt. 7にかけて捕獲個体数の減少が見られたが、再現結果ではSt. 6と7の相対的個体数は同数であった(図-4, 6)。

4. 考察

(1) 両側回遊型甲殻類のミゾレヌマエビを生息空間連続性評価の指標とすることの有効性

現地調査の結果、ミゾレヌマエビの遡上個体が間川を回遊経路として選択し、大量に遡上することが明らかとなった。本研究における野外調査は、小規模な支川の約2.5 kmという狭い範囲内で実施し、また、調査場所の環境はミゾレヌマエビのハビタットとして見た場合に類似していたため、調査区間内においては、構造物による分断がなければミゾレヌマエビの個体数は同様になると考えられる。しかしながら、構造物直下の生息個体数には違いが見られ(図-4)、構造物特性がミゾレヌマエビの分布に影響を及ぼしたと考えられた。これらの事実から、ミゾレヌマエビの遡上行動は構造物による影響を受けやすいと考えられる。

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⁵⁾。しかし、本研究によって示されたように、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よう。それにより、多様な生物が生息する生息空間NWの保全・復元が可能になると思われる。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同様の遡上生態をもつウナギ(*Auguilla japonica*)⁹⁾などの底生魚類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となる可能性がある。

(2) グラフ理論を用いた生息空間NW評価手法の適用性

本研究で開発した評価手法は、移入個体数が定常・非定常数のいずれの場合であっても、調査地の各St.におけるミゾレヌマエビの相対的分布傾向を良好に再現した(図-6)。特に、St. 3における個体数の減少や、St. 4からSt. 5にかけての個体数の増加は、調査地におけるミゾレヌマエビの分布パターンの特徴と一致している。この傾向を良好に再現できた点は、算出したCMIが適切であったことを示している。

従来の生息空間NWの改善や水生生物の遡上状態改善

の取り組みは、遡上阻害が疑われる構造物を対象に、その問題を個別に改善するだけに留まる事例が多かった。一方、本研究で提案する手法では、生息空間NWを1つの系として取り扱い、その機能について評価することが可能である。同時に、Branchの機能をCMIという指標で評価できることに利点がある。本研究で提案する手法を用いれば、構造物に関する複数の物理環境特性についてMIを作成し、さまざまなCMIを作成するシミュレーションを行うことで、阻害要因となりうる物理環境特性を抽出できると考えられる。

しかしながら、本研究で提案する評価手法には改良の余地がある。モデルによる再現結果で特に改良の必要性が高い例は、St. 6とSt. 7である。野外調査の実測値では、St. 6からSt. 7にかけて個体数の減少が認められたが、再現結果では、St. 6とSt. 7の相対的個体数は同数であった(図-4, 6)。この相違が生じた主な理由は、Branchの遡上適性度が適切に評価されていないためと考えられる。このことを改善し、本評価手法を生息空間NW評価においてより有効とするためには、ミゾレヌマエビの生態を反映させた移動ルールの設定が必要となるだろう。本評価手法では、ミゾレヌマエビは1日に1Node上流側へ移動するとした。しかしながら、実際のミゾレヌマエビの移動は、生息空間の状態(物理的環境・餌資源の状態)、個体間競争(密度効果など)および捕食者との種間関係などに影響を受けて変化すると考えられる。また、遡上行動に適した環境を整えば、ミゾレヌマエビは1Nodeの移動だけでなく複数Node移動することも考えられる。このため、生息空間NWの評価をより正確に行う上では、個体行動に着目したモデルの改良が必要になると考えられる。

また、本研究では、MI_dなどの6つの指標で構造物の遡上適性度を評価した。しかしながら、これらの指標以外にもミゾレヌマエビの遡上行動に影響を与える物理的環境要因があるかもしれない。例えば、構造物の表面構造(歩行遡上時に構造物に歩脚が掛かりやすいかどうか)、構造物の勾配、下流からの構造物水際緩流部への到達しやすさ、構造物周辺の植生の状態などが、ミゾレヌマエビの遡上行動に影響を及ぼす可能性がある。今後の研究では、こうした他の要因についても詳細に検証し、本評価手法を改良する必要があるだろう。

(3) グラフ理論を用いた生息空間NW評価手法の発展性

既往研究では、生息空間NWの状態が異なる場所で生物群集を比較するなど、現地調査に基づく記述的研究が主に行われていた。これらの取り組みでも、生息空間NWの違いが生物群集や個体群に与える影響を評価することは可能である。しかしながら、本研究で提案する手法は、既往研究の手法論・知見を更に発展させると考えられる。それは、本手法が、生息空間NWのサブ

システムである生息空間 (Node) と移動経路 (Branch) の機能評価を可能としている点に起因する。本調査地を例に挙げれば、調査地内により多くのミズレヌマエビを加入させ増殖させることを目的とする場合、どの構造物の遡上適性度を優先して改善すべきかについて、シミュレーションを用いて検討することが可能な点に大きな発展性がある。また、本手法によるシミュレーションは、遡上適性度の改良が上下流へ与える波及効果などを総合的かつ定量的に検討することも可能である。このことは、本手法の大きな利点であると考えられる。

また、本研究で提案したMI, CMIは、他の構造物と比較し、改修対象とする構造物のどの物理環境特性に問題があるかを明瞭に指摘する。改修の対象となる構造物のMI (物理環境特性) が他と比較して著しく低い場合、その物理環境特性を重点的に修復することで、構造物のCMIを効果的に高めることができる。その結果として、生息空間NW全体の機能を向上させることが可能になると考えられる。

さらに、本研究で提案する手法では、特定の遡上阻害要因だけでなく、複合的な遡上阻害要因を検証して抽出することが可能である。また、構造物による生息空間連続性分断の改善検討時には、優先して改修すべき構造物の抽出やその物理環境特性を検討することも可能である。本手法は、甲殻類だけではなく他の水生生物を対象とする生息空間NWの保全・復元に応用することも可能であり、河川管理の現場において有用であると考えられる。

本研究では、間川のような単純なNW構造の場合において、平常時に行う野外調査の結果とモデルとのキャリブレーションによって、移入個体数の条件設定に関係なく、生息空間NWの連続性の状態についてCMIで妥当に評価できることが示された。このことは、本研究で開発した評価手法の大きな利点であり、ミズレヌマエビの生息空間NW評価モデルの原理は確立できたと言えよう。今後の研究では、本評価手法を他の河川にも適用することでモデルを検証し、その精度を高める必要がある。また、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もこのモデルを適用し、本手法を発展させる必要がある。

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) 鷲谷いづみ・矢原徹一：保全生態学入門，遺伝子から景観まで，文一総合出版，270 pp., 1996.
- 2) 伊理正夫・白川 功・梶谷洋司・篠田庄司：演習グラフ

理論-基礎と応用-，コロナ社，165 pp., 1983.

- 3) Linehan, J., Gross, M. and Finn, J.: Greenway planning: developing a landscape ecological network approach, *Landscape and Urban Planning*, Vol. 33, pp. 179-193, 1995.
- 4) Shimazaki, H., Tamura, M., Darman, Y., Andronov, V., Parilov, M. P., Nagendran, M. and Higuchi, H.: Network analysis of potential migration routes for Oriental White Storks (*Ciconia boyciana*), *Ecological Research*, Vol. 19, pp. 683-698, 2004.
- 5) Morita, K. and Yamamoto, S.: Contrasts in movement behavior of juvenile white-spotted charr between stocks above and below a dam, *Fisheries Science*, Vol. 67, pp. 179-181, 2001.
- 6) 新村安雄：長良川河口堰の呼び水式魚道とせせらぎ魚道-稚アユの遡上からみた機能比較-，応用生態工学，3巻，pp. 169-178, 2000.
- 7) 浜野龍夫・井手口佳子・中田和義：山口県西田川における両側回遊性エビ類の幼生の流下と稚エビの加入，水産増殖，53巻，pp. 439-446, 2005.
- 8) 三矢泰彦・浜野龍夫：魚道のないダムが十脚甲殻類の流程分布に与える影響，日本水産学会誌，54巻，pp. 429-435, 1988.
- 9) 浜野龍夫・伊藤信行・山本一夫編著：水辺の小わざ (改訂増補版)，山口県土木建築部河川課，272 pp., 2008.
- 10) 浜野龍夫・三矢泰彦・石崎勝義：河川横断構造物がエビ・カニ類に及ぼす影響とその個体群の復元について，河川技術論文集，4巻，pp. 183-188, 1998.
- 11) 浜野龍夫・鎌田正幸・田辺 力：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巻，pp. 1-47, 2000.
- 12) 中原泰彦・荻原篤志・三矢泰彦・平山和次：ヌマエビ科両側回遊性エビ類3種の幼生飼育に対する飼育餌料および塩分の影響，水産増殖，53巻，pp. 305-310, 2005.
- 13) Ideguchi, K., Hamano, T. and Nakata, K.: Timing of egg hatch of amphidromous freshwater shrimps in a small river (the Nishida River), western Japan, *Fisheries Science*, Vol. 73, pp. 961-963, 2007.
- 14) 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.
- 15) Kikkert, D. A., Cowl, T. A. and Covich, A. P.: Upstream migration of amphidromous shrimps in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico: temporal patterns and environmental cues, *Journal of the North American Benthological Society*, Vol. 28, pp. 233-246, 2009.
- 16) 中原泰彦：両側回遊性エビ類の形態・生態学的研究，長崎大学大学院生産科学研究科博士学位論文，178 pp., 2006.
- 17) 山平寿智・井上亜希子・大石俊介・井手口佳子：両側回遊種ミズレヌマエビにおけるデモグラフィの河川流程間変異，日本ベントス学会誌，62巻，pp. 9-16, 2007.

(2009. 4. 9受付)