

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

POPULATION VIABILITY ANALYSIS OF AMPHIDROMOUS CRUSTACEAN SPECIES IN RIVER AND AGRICULTURAL CHANNEL NETWORKS

中田和義¹・傳田正利²・三輪準二³・天野邦彦⁴・浜野龍夫⁵

Kazuyoshi NAKATA, Masatoshi DENDA, Junji MIWA,
Kunihiko AMANO 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 博 (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 修 (工) (独) 土木研究所水環境研究グループ河川生態チーム

⁴正会員 博 (工) 国土交通省国土技術政策総合研究所河川環境研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

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 river and agricultural channel networks is important for conserving local populations of aquatic species inhabiting agricultural areas. We conducted field investigations of the distribution of the amphidromous freshwater shrimp *Caridina leucosticta* in seven agricultural drainage channels around the Furu River, Aichi Prefecture, Japan. We developed a simulation model of the population viability analysis for this shrimp to assess its habitat network, which is composed of the river and agricultural channels, and we simulated patterns of shrimp migration into the channels. The distribution pattern simulated by our model was similar to the shrimp's distribution as observed in the field, with many shrimp migrating into spring-fed channels. To simulate the distributional patterns of this shrimp more accurately, we need to improve our model by clarifying the factors affecting shrimp migration into agricultural channels.

Key Words: agricultural channel, amphidromous freshwater shrimp, habitat network, population viability analysis, river

1. はじめに

河川、農業水路および水田から形成される生息場ネットワーク (以下、NWと記述する) は、水田生態系に生息する多くの生物に生息場を提供する。水田や農業水路の構造システムは、農業という産業形態の影響を受けて決定される。それゆえ、農業をとりまく社会条件・営農形態・農業施策によって、NWの構造やNWへの水供給の状態は大きく変化する。近年の農業を取り巻く変化は、NWに依存して生息する水田生態系の生物群集に影響を与えている¹⁾。NWに依存して生息する生物群集への種々の改変による影響を軽減し、良好な生物群集状態を維持するためには、NWに依存して生活史を全うする象徴的な種に着目し、その種の個体群存続可能性を評価し、持続的に個体群維持がなされるNWの保全・復元計画を立案することが求められる。

本研究では、河川—農業水路NWの連続性評価の指標

生物として、淡水性エビ類のミゾレヌマエビ (*Caridina leucosticta*) に着目した。ミゾレヌマエビは、日本中部以南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、両側回遊型の生活史をもつ^{2), 3)}。その生活史においては、淡水域中でふ化したゾエア幼生が河川を流下し、塩分のある水域で複数のゾエア幼生期を経たのち稚エビとして着底し、河川を遡上する。さらに、河川に接続する農業水路にも遡上し、水路を生息場所として利用する⁴⁾。ヌマエビ類は、河川生態系において重要な生態学的役割を果たすことが知られている⁵⁾。これらのことから、ミゾレヌマエビは、水生生物の生息域としての河川—農業水路網NWの状態を評価する上で、非常に良い指標になると考えられる。

数理生態学分野では、個体群存続可能性を評価する手法 (Population Viability Analysis: PVA) が開発されてきた。PVAは、種や個体群の絶滅リスクを評価する手法であり、大きく分類して、齢もしくは発育段階に応じた繁殖率や生存率を行列で表現することで個体群

動態を記述する行列モデル (Matrix Model) と、個体ごとにデータを作成し、個体の振る舞いの総体として個体群動態を把握する個体ベースモデル (Individual Based Model: IBM) の2つの手法が用いられる⁹⁾。本研究で対象としたような、NWの構造変化が個体群持続可能性に与える影響評価を行う上では、NW構造の変化が個体移動に及ぼす影響の程度などを評価する必要がある。この場合、IBMが最適な手法であると考えられる。

本研究では、両側回遊種のミゾレヌマエビを河川—農業水路NWの生息場連続性評価の指標種として位置づけ、IBMによる本種の個体群持続可能性評価手法の開発を試みた。さらには、農業形態の変化や農業水路の構造変化に伴うミゾレヌマエビの個体群変動シミュレーションシナリオを複数設定し、1999年を基準としてその2年後のミゾレヌマエビの個体群変動推定を試行した。

2. 研究の方法

(1) 調査地の概要

調査地に選定した古川は、愛知県豊川市当古地区の農業地域を流れる豊川支川の小河川であり、水田や畑地に連結する複数の農業水路が接続する。本研究では、古川に接続する7カ所の農業水路で調査を行った (図-1)。なお、水路2~7は水田に接続する小排水路であるが、水路1は畑地に接続する小排水路である。この農業地域では、灌漑期が6月初旬から9月下旬まで、非灌漑期が10月初旬から5月下旬までである。なお、本論文における研究対象種のミゾレヌマエビは、豊川から古川に遡上し、さらに古川に接続する農業水路にも多数遡上することが確認されている⁴⁾。

(2) ミゾレヌマエビの捕獲調査

灌漑期においては2008年7月2日と9月10日、非灌漑期においては2008年10月28日、11月18日、2009年2月3日、4月28日に、甲殻類の捕獲調査と水路の水供給状態の確

認を行った。水路網の確認は、2008年12月15日にも実施した。調査では、各水路において1名10分間によるタモ網 (40 cm×40 cm, 網目3.5 mm) を用いた甲殻類の定量採集を実施した。捕獲した甲殻類は10%ホルマリンで固定したのち研究室に持ち帰り、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。また、農業水路内の物理環境特性として、各種の環境 (水温、流速、水深、pH、溶存酸素量、湧水浸透の有無) の測定についても実施した。

(3) ミゾレヌマエビの個体群持続可能性評価モデルの概要

a) 調査地における河川—農業水路NWのモデル化

調査地の河川区間と農業水路から特徴づけられる生息場NWについて、時間的変動性を考慮してモデル化した。すなわち、調査を実施した2008年7月、9月、10月、11月、12月、2009年2月、4月のNWの状態について、それぞれモデル化した。モデル化では、河川における生息場NWについてグラフ理論を用いてモデル化した中田ら⁷⁾の方法を参考にし、各農業水路を生息空間 (node)、古川と水路下流端との接続部分の構造物 (落差) を移動経路 (branch) とみなした。

毎回の現地調査時には、各水路について、水田または畑地からの農業排水の供給状況や、農業水路の水溜りの有無などを確認した。また、水路—古川間連結部の水供給状況を調査し、水路—古川間の遡上経路分断の有無を記録した。これらの情報をもとに、古川—農業水路NWについて、灌漑期と非灌漑期の農業用水利用形態の違いを反映させてモデル化した。

ミゾレヌマエビの遡上期 (8~11月) のNWモデルでは、古川と各水路連結部の構造物 (branch) において、ミゾレヌマエビによる水路への遡上しやすさを評価するための適性値を与えた。適性値の算出では、河川横断構造物に対するミゾレヌマエビの合成遡上適性値を算出した中田ら⁷⁾の手法を参考とし、まず、ミゾレヌマエビの遡上行動に影響を与えると考えられる物理環境特性と現地調査で採捕されたミゾレヌマエビの個体数から、遡上適性曲線 (Migration Index: MI) を求めた。本研究では、ミゾレヌマエビによる水路への遡上に影響を及ぼすと考えられる物理環境特性⁹⁾として、構造物直上の水際および流心部の流速 (cm/s)、構造物直上の水際および流心部の水深 (cm)、構造物の落差 (m)、pH、溶存酸素量 (mg/l)、水温 (°C)、水路と古川 (合流部上流側) との水温差 (°C) に着目した。水際の流速と水深については、左岸と右岸でそれぞれ測定し、その平均値を解析に用いた。

各物理環境特性と各水路における現地調査の捕獲個体数でヒストグラムを作成し、捕獲個体数の最大値を1とするMIを作成した。次いで、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: CMI) を各水路について次式より算出した。

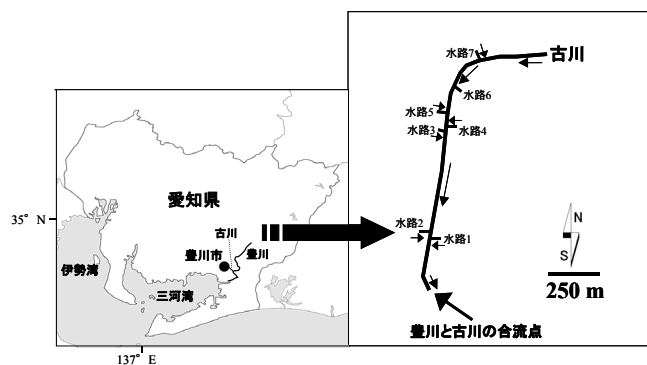


図-1 調査地 (愛知県豊川支川古川周辺の農業水路) の概要

$$CMI=(MI_{v1} \times MI_{v2} \times MI_{dl} \times MI_{d2} \times MI_h \times MI_{ph} \times MI_{do} \times MI_{wt1} \times MI_{wt2})^{19}$$

ただし

- MI_{v1} : 構造物直上の水際の流速に関するMI
- MI_{v2} : 構造物直上の流心部の流速に関するMI
- MI_{dl} : 構造物直上の水際の水深に関するMI
- MI_{d2} : 構造物直上の流心部の水深に関するMI
- MI_h : 構造物の落差に関するMI
- MI_{ph} : pHに関するMI
- MI_{do} : DOに関するMI
- MI_{wt1} : 水温に関するMI
- MI_{wt2} : 水路と古川合流部との水温差に関するMI

なお、水路と古川の連結部 (branch) で生息空間連続性の分断化 (水涸れ) が起きていた場合には、ミゾレヌマエビは古川から水路に遡上できないため、そのbranchのCMIは0とした。また、現地調査を実施しなかった8月の各水路のCMIは、9月のCMI値を適用した。

b) 農業水路に遡上するミゾレヌマエビの生態のモデル化

本研究では、各個体の成長と移動を忠実に表現するために、ミゾレヌマエビのクラスを作成してプログラム化した。クラスでは、誕生からの日数、頭胸甲長 (Carapace length: CL), 位置座標, 湿重量, 雌雄, 繁殖可能性, 繁殖状態等を各個体の属性情報として管理する。また、各属性情報は時間の経過とともに変化し、個体の成長や遡上等の生活史に伴う状況を評価できる。

調査地におけるミゾレヌマエビの繁殖期は4~8月であり (中田ら 未発表), 卵はふ化するまでメスの腹部に抱卵される。卵は淡水域中でゾエア幼生としてふ化し, ふ化したゾエアは河川を流下するが³⁾, 幼生の発育には塩分が不可欠であるため⁹⁾, 汽水・海域へと到達した幼生のみが脱皮成長できる。その後, 複数のゾエア幼生期を経たのち変態して稚エビになり, 8~11月に河川を遡上しながら成長する²⁾。着底後の遡上個体は, 豊川から古川に遡上し, さらに農業水路に遡上する個体も多数出現する⁴⁾。水路に遡上した個体は, 冬期は水路内で越冬する。繁殖期が終了すると, 親エビは基本的に死亡すると考えられる¹⁰⁾。以上の知見に基づき, 調査地におけるミゾレヌマエビの各個体の生活史についてモデル化した。なお, 水路に遡上したミゾレヌマエビについては, 非灌漑期に水路が水涸れすると, 多数死亡することが確認されている⁴⁾。そこで, 遡上した水路が非灌漑期に水涸れした場合には, 遡上個体は生残できずに全滅するものとした。

越冬後, 成長して繁殖期を迎えた個体は, 繁殖可能な異性が自分と同じセル (0.2×0.2 m) にいるか, または周囲8セル以内にいる場合には交尾を行い, その後, メスは産卵する。4月中旬に産卵・抱卵したメスは, 5月になるとゾエアの放出场所まで降河移動する。なお,

本モデルにおけるミゾレヌマエビの寿命は420日間と設定した。また, 1個体あたりの抱卵メスから誕生するゾエアのうち, 稚エビとなり古川に遡上する個体数は5個体と仮定した。この場合の雌雄は乱数から決定させた。

ミゾレヌマエビの成長速度は雌雄によって異なり, 体サイズはオスよりもメスの方が大型に成長する^{10), 11)}。また, 雌雄ともに8月に加入した個体は10月までは比較的急速に成長するが, 冬期はほとんど成長しない。越冬した個体は4月になり再び成長し始めるが, 繁殖期を迎えると成長は穏やかになる¹⁰⁾。本研究では, ミゾレヌマエビの成長速度について, 中原¹⁰⁾によるミゾレヌマエビの雌雄別CLの月別データを参考にし, 1) 成長期 (8~10月), 2) 冬期成長停滞期 (11~3月), 3) 再成長期 (4~7月), 4) 繁殖期 (8月以降) に分けて雌雄別に成長式を算出しモデルに適用した。なお, 本モデルでは, 既往知見^{10), 11)}と豊川流域での現地予備調査の結果に基づき, 調査地における産卵可能なメスの最小サイズをCL 4.8 mmと設定した。

モデルでは, 既往知見⁸⁾と調査地での予備調査の結果に基づき, ミゾレヌマエビの仮想個体は表-1のルールに従って空間選択を行うこととした。なお, 1日あたりの移動距離については, 既往知見^{12), 13)}より推定すると, ヤマトヌマエビ (*Caridina multidentata*) の遡上稚エビでは約26 mである。上流域まで遡上するヤマトヌマエビは下流側に生息する種よりも遡上速度が速いことが知られているため¹⁴⁾, ミゾレヌマエビの移動速度はヤマトヌマエビに比べて遅いと考えられる。そこで本モデルでは, ミゾレヌマエビの仮想個体による1日あたりの移動距離を15 mと設定した。なお, 河川と比較して空間が狭い農業水路では, その内部に収容できるミゾレヌマエビの個体数 (環境収容力) には上限があると考えられる。本モデルでは, 水路の環境収容力の設定に水域面積を用いた。水域面積は時間的に変動するが, 本モデルでは水路が水涸れせずミゾレヌマエビが多く水路に遡上する (結果参照) 9月の水域面積を用いて環境収容力を設定し, 各水路の環境収容力を, 9月の水域面積が最小となる水路を基準として相対量で設定した。

c) モデルの検証方法: 空間分布形

モデルによるシミュレーションによって, 調査対象とした7水路におけるミゾレヌマエビの着底後当年の10月における空間分布形を計算した。この計算結果と10

表-1 ミゾレヌマエビの仮想個体による空間選択のルール

| 移動に影響する要因 | 空間選択のルール |
|---------------|---|
| 流速 | 仮想個体は現在のメッシュと流速が同じまたは遅いメッシュに移動する。 |
| 水温 | 灌漑期: 仮想個体は現在のメッシュと水温が同じまたは低いメッシュに移動する。 非灌漑期: 仮想個体は現在のメッシュと水温が同じまたは高いメッシュに移動する。 |
| CMI (合成遡上適性値) | 仮想個体はCMI>0.005の場合に水路に遡上する。 |

月の現地データを比較することでモデルの精度を検証した。この場合、現地データとシミュレーション算出結果の個体数が最大であった水路の個体数でそれぞれ標準化し、両者の分布形を比較した。

d) 農業水路の構造変化に伴うミゾレヌマエビの個体群変動シミュレーションシナリオの設定

全国の農業施策の変遷と今後の動向を整理するため、1953～1997年の農林水産省農業施策年報を調査し、施策の背景も含めて内容を整理し、施策内容を分類した。その結果、農地は主として食料生産を目的としているため、農業振興に主軸をおいて施策が実施されることが多い反面、環境保全型農業の一環として、農地が持つ環境保全機能に着目し景観や生物生息場保全を目的とした施策が積極的に実施されていた。本研究では、これらの2つの側面に着目し、農業水路の構造変化に伴うミゾレヌマエビの個体群変動シミュレーションシナリオを設定し、1999年から2001年までのミゾレヌマエビの個体群変動推定を次のシナリオA～D別に試行した。

シナリオAは、現状の農業水路構造や農業形態が維持されるシナリオである。次に、農業振興を主目的とし、水生生物保全に積極的に留意しない場合がシナリオBである。このシナリオBでは、農家の経営安定化を目指して水田を畑地へ転用し、また水田での収穫量増加を目的として乾田化や減反政策を進める。すなわち、排水工事等が実施されることで地下水位が低下し、その結果として湧水量が減少し、水路の水涸れが生じる現象を想定している。

一方で、農業振興を図りつつも水生生物の保全を積極的に進める場合がシナリオCとDである。シナリオCは、生息場保全として、水路に生息する水生生物の越冬場を確保するため、農業水路標高の切り下げや湧水環境の維持のための環境保全事業を行う。シナリオDでは、生息場NWの連続性改善として、農業水路の落差構造改善などを行う。上記のシナリオに基づきモデルの空間データを変更し、個体群変動を集計して施策効果を比較・検証した。本研究では、水路1, 3, 5, 7における10月の遡上個体数（相対数）をもとに、シナリオ別の施策効果を比較した。

3. 結果

(1) 河川－農業水路NWの状態と農業水利用形態の時間的変動性

踏査の結果、調査地の河川－農業水路NWの状態は、農業用水の利用形態の影響を強く受け、季節によって大きく変動した。灌漑期の6月初旬から9月末においては、農業用水がパイプラインを通じて水田に導入された。一方、非灌漑期の10月初旬から5月末までは、パイ

プラインを通じた水田への農業用水の供給が止まり、農業水路に流入する水田排水は消失した。

水路における水の供給状態については、灌漑期の2008年7月と9月においては、水田に連結するすべての水路に水田排水が流入し、古川との間で移動経路の分断が起きている水路は認められなかった。また、畑地に連結する水路1においても、水供給は維持され、古川との間で分断は起きていなかった。水路3, 5, 7では、湧水の浸透が確認された。

一方、水田排水が消失する非灌漑期の10月になると、水路2では水涸れが生じた。また、水路4, 6では、水路内の一部に小水域は残存していたが、水路と古川の連結部が水涸れし、移動経路（branch）が分断され、生息空間の分断化が確認された。水路1では、雨水や生活排水等の流入により水涸れすることはなく、その後も1年を通じて古川との連続性は維持された。湧水水路3, 5, 7については、10月においても湧水が浸透し続けたため、水涸れは起きなかった。

11月になると、水路4と6は完全に水涸れした。湧水水路についても、水路5では11月に、水路7では12月になると湧水浸透が消失し、両水路ともに12月までに完全に水涸れした。一方、湧水水路3では、1年を通じて湧水が浸透し続け、灌漑期・非灌漑期にかかわらず、水路の水涸れは生じなかった。水田に接続する水路で1年を通じて水涸れしなかったのは水路3のみであった。

表-2に、調査地のCMIの算出結果を示す。CMIは湧水水路で高い傾向があった。CMIの算出結果から古川－農業水路間のbranchの値を決定し、古川－農業水路網の生息空間NWを図-2に示すように設定した。

(2) 調査地の農業水路におけるミゾレヌマエビの分布

調査日別、かつ水路ごとのミゾレヌマエビの捕獲個体数を図-3に示す。灌漑期においては、2008年7月の調査では、すべての水路でミゾレヌマエビは捕獲されなかった。一方で2008年9月の調査では、水路6を除く全水路でミゾレヌマエビが捕獲されたが、ミゾレヌマエビは湧水水路へ選好的に遡上する傾向が認められた。

非灌漑期の2008年10月になると、水涸れした農業水路では生息場が消失し、ミゾレヌマエビは捕獲されな

表-2 調査対象とした農業水路のCMI算出結果

| 水路 | CMI | | |
|----|------|------|------|
| | 9月 | 10月 | 11月 |
| 1 | 0.08 | 0 | 0 |
| 2 | 0.20 | 0 | 0 |
| 3 | 0.36 | 0.47 | 0.74 |
| 4 | 0.08 | 0 | 0 |
| 5 | 0.45 | 0.91 | 0 |
| 6 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

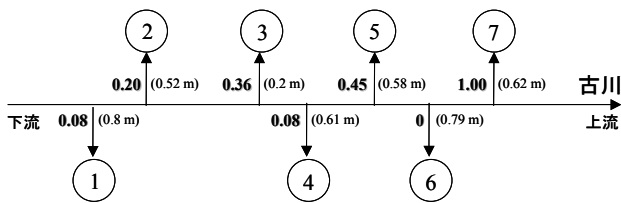


図-2 調査地における河川-農業水路NW (9月). ○は水路 (node), 上下方向の矢印は移動経路 (branch), 移動経路横の値はCMI, 括弧内の値は落差を示す.

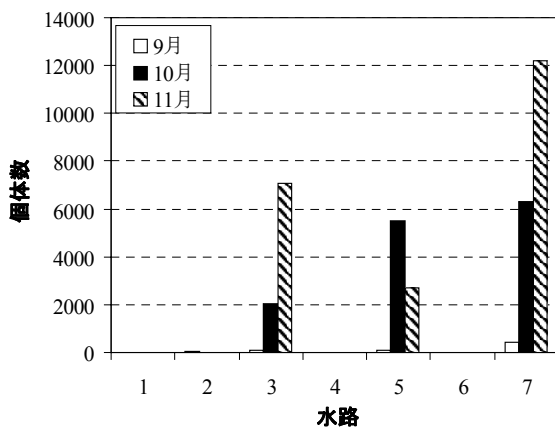


図-3 野外調査で捕獲されたミズヌマエビの個体数.

かった. これに対して湧水水路では, 9月の調査結果と同様に, 10月, 11月ともに捕獲個体数が多かった (図-3). 特に11月の水路7では捕獲個体数が非常に多く, 12,196個体に達した. しかしながら, 3-(1)で上述したとおり, 2008年12月までに湧水水路3カ所のうち水路7を含む2水路では完全に水涸れし, ミズヌマエビの生息場が消失した. なお湧水水路5では, 既往研究により, 湧水が消失し水涸れした後の水路内の干上がった場所で, ミズヌマエビの死亡個体が多数発見されている⁴⁾.

水涸れしなかった湧水水路3では, ミズヌマエビは冬期においても水路内で成長した. さらに水路3では, 2009年4月に抱卵メスが確認された. すなわち, 湧水水路3では, ミズヌマエビは水路内で越冬・成長したのち, 交尾・産卵していることが示された.

(3) モデルによるミズヌマエビの個体群存続可能性評価

本研究で開発したモデルから算出された農業水路におけるミズヌマエビの分布パターン (10月) は, ミズヌマエビが湧水水路 (3, 5, 7) に遡上する傾向や, 水涸れする水路では生残できない状況を再現できた. 一方で, 水路3と5の相対個体数には野外調査実測値とモデル算出値では違いが見られ, 分布形を完全に再現することはできなかった (図-4).

(4) 農業水路の構造変化に伴うミズヌマエビの個体群変動シミュレーションのシナリオ別評価

図-5に, 本研究で想定した施策を実施した場合の, 1999~2001年までのミズヌマエビの個体群変動結果を示す. 環境保全型施策シナリオのうち, 明瞭な変化が見られたのはシナリオCで, 2001年には水路1を除いて相対個体数が著しく増加した. 一方, シナリオDでは, 2001年に相対個体数は増加したが, シナリオCほどの効果は見られなかった. 環境劣化が生じるシナリオBでは, 冬期にすべての水路が水涸れする影響によって, 2001年には, 他のシナリオに比べて個体数が減少した.

4. 考察

(1) 本研究で開発したモデルの改善点

本研究で開発したモデルでは, 調査地の各水路におけるミズヌマエビの相対的分布傾向を良好に再現した (図-4). 特に, 湧水水路 (3, 5, 7) にミズヌマエビが選好的に遡上する傾向は, 調査地における分布パターンと一致している. 一方で, 水路3と5の相対個体数は, 野外調査実測値とモデル算出値では差が見られた. この理由は, モデルで設定したミズヌマエビの生活史や空間選択のルールが, 野外生息地における本種の実際の生態とは異なっているためと思われる. 例えば, ミズヌマエビによる農業水路への遡上行動には, 本モデルで考慮した以外の要因が影響している可能性も考えられる. また, 本モデルでは, 各水路の環境収容力について9月の水域面積を基に設定したが, 水域面積は時間変動する. したがって, 本モデルでは環境収容力の時間的変動を反映できていない. さらには, 環境収容力は水域面積以外の条件 (例えば, 隠れ家となる水生植物の繁茂状況等) にも影響を受けて決定されると考えられる. 今後の研究では, ミズヌマエビの未解明な生態を明らかにしてモデルに反映させるとともに, 環境収容力の設定方法について物理生息場モデルとも連携して改善することで, モデルの精度を高める必要がある.

また, 本モデルでは, ミズヌマエビはCMI>0.005で水路への遡上が可能と設定した. しかしながら, CMIは水路によって差が見られたので (表-2), 本来は水路への遡上成功率についてCMIによって重み付けする必要があると考えられる. 水路3と5のモデル算出値が実測値を正確に再現できなかった (図-4) 一因には, モデルにおいてCMIによる遡上成功率の重み付けができていなかったことも挙げられよう. 今後の研究では, モデルにおける水路への遡上成功率にCMIがより正確に反映されるようにモデル条件を改良し, 本評価手法の精度

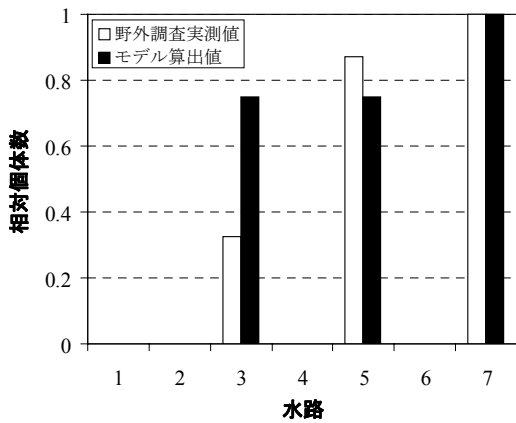


図-4 野外調査実測値とモデル算出値による水路における遡上相対個体数の比較 (10月).

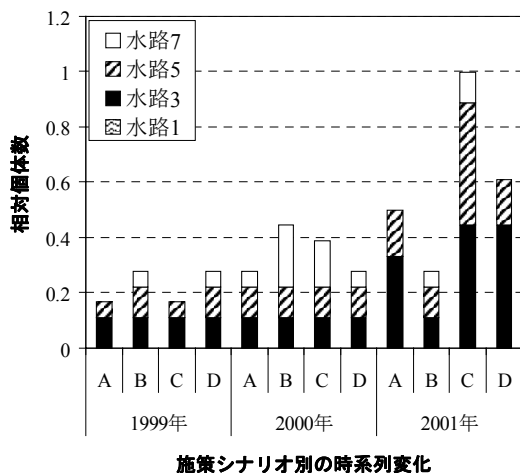


図-5 施策シナリオ別の水路における相対個体数の変化 (10月).

を高めていくことが求められる。

(2) モデルによる施策シナリオ効果の予測

本モデルでは、物理環境特性や生息場NWの状態を詳細に表現でき、それらの変化がミズレヌマエビの生活史(繁殖行動等)に与える影響までを表現することが可能となった。それにより、農業に関する施策シナリオを物理場や生息場に反映させることで河川-農業水路NWをモデル化し、施策がミズレヌマエビの個体群存続可能性に及ぼす影響やその効果を検討することが可能となる。例えば、農家の経営安定化を目的として畑作転換施策シナリオが講じられる場合、雨水排水等を主目的とした畑地水路では水涸れが生じやすくなると考えられるが、本モデルによる予測では、水路の水涸れがミズレヌマエビの個体群存続可能性に及ぼす影響は非常に大きいことが示唆された。本モデルでは、物理生息場モデルのような単純な因果関係の評価だけでなく、動態を含めたより深い考察が可能である。また、シミュレーションを行うことで、悪化したNWの状態の改善策を検討することも可能となる。本手法は、農業水路に生息する他の生物個体群の保全に展開すること

も可能と考えられ、水田生態系に生息する水生生物の生息場保全に配慮の上で各種の施策内容を検討することが可能な点で有用と考えられる。

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) 水谷正一：“春の小川”とは、どんな川なのか、春の小川の淡水魚 その生息場と保全 (水谷正一・森 淳編), 学報社, 東京, pp. 1-8, 2009.
- 2) 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.
- 3) Ideguchi, K., Hamano, T. and Nakata, K.: Timing of egg hatch of amphidromous freshwater shrimps in a small river (the Nishida River), western Japan, *Fish. Sci.*, Vol. 73, pp. 961-963, 2007.
- 4) 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).
- 5) 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 Biol.*, Vol. 47, pp. 377-390, 2002.
- 6) 楠田哲也・巖佐庸編：生態系とシミュレーション, 朝倉書店, 東京, 172 pp., 2002.
- 7) 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.
- 8) 浜野龍夫・伊藤信行・山本一夫編著：水辺の小わが (改訂増補版), 山口県土木建築部河川課, 272 pp., 2008.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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期間変異, 日本ベントス学会誌, 62巻, pp. 9-16, 2007.
- 12) Hayashi, K. and Hamano, T.: The complete larval development of *Caridina japonica* De Man (Decapoda, Caridea, Atyidae) reared in the laboratory, *Zool. Sci.*, Vol. 1, pp. 571-589, 1984.
- 13) 浜野龍夫・林 健一：徳島県志和岐川に遡上するヤマトヌマエビの生態, 甲殻類の研究, 21巻, pp. 1-13, 1992.
- 14) 浜野龍夫・吉見圭一郎・林 健一・柿元 皓・諸喜田茂充：淡水産(両側回遊性)エビ類のための魚道に関する実験的研究, 日本水産学会誌, 61巻, pp. 171-178, 1995.

(2010. 4. 8受付)