

紀の川流域の生息地におけるエサキアメンボの パッチ占有モデルによるメタ個体群存続の予測

江種伸之¹・徳田裕二²・中尾史郎³

¹正会員 和歌山大学准教授 システム工学部 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

E-mail: egusa@sys.wakayama-u.ac.jp

²学生会員 和歌山大学大学院システム工学研究科 博士前期課程 (〒640-8510 和歌山県和歌山市栄谷930)

E-mail: s094040@sys.wakayama-u.ac.jp

³京都府立大学大学院准教授 生命環境科学研究科 (〒606-8522 京都市左京区下鴨半木町1-5)

E-mail: nakao@kpu.ac.jp

本稿では、紀の川流域に生息するエサキアメンボのメタ個体群成立範囲を、2009年に行われた野外調査とパッチ占有モデルを利用した解析から推定した。さらに、流域内の貴志川地区と打田地区において、地区ごとのメタ個体群成立範囲の構造を、溜池の植生や溜池間の距離などの数値データを用いて分析した。その結果、貴志川地区では1つの溜池群、打田地区では3つの溜池群でメタ個体群のユニットが維持されることが示唆された。また、それぞれ地区でメタ個体群存続にとって重要な溜池を導き出すことに成功した。

Key Words : metapopulation, water-strider, *Limnporus esakii*, vegetation, patch occupancy model

1. はじめに

農地占有率の高い流域の小河川や溜池には貴重な生物が多く生息し、周辺の水辺は単に食料生産に利用されるばかりではなく、保水、浄化、風致、生物生息地などの意義を有する場としても重要である¹⁾。しかし、農業用水の利用、土壌や栄養塩の流出、保水力低下などにより、水辺環境の安定性は水質的にも水量的にも低く、希少生物の個体群維持や景観保全が困難なことも多い。このような状況は、日本各地の農業集水域に共通の懸案事項であり、生物多様性保護や景観保全の観点から、農地と水辺で構成される流域全体の環境特性の解明と保全が求められている²⁾³⁾。また近年は、文化的景観として保護対象となる溜池群の再生や保存において⁴⁾、溜池群のどの範囲までを保全対象として指定するか、どのエリアまでの復元を景観再生の目標とするのか、そして、物理的な水域のつながりだけでなく、生物相の再生をどこまで、そしてどのように実施するのが、実務上の大きな課題である⁵⁾⁷⁾。

これは、溜池に生息する生物が個々の小面積の生息場だけで集団を永続的に維持していることは少なく、メタ個体群⁸⁾⁹⁾として存続しているからでもある。すなわち、単一の溜池だけで特定の生物群(局所個体群)を保護することは、自然および文化の存続の点で妥当といえないことが認識されており、流域景観における水辺環境保全

と生物多様性保護、ならびに文化的景観の整合を考える場合には、水域の空間分布に依存した生物のメタ個体群成立範囲の把握が不可欠といえる。

著者らは、農業活動が盛んな流域の水路(河川)や溜池に生息する希少生物のメタ個体群として、紀の川中流域(和歌山県北部、図-1)に生息する準絶滅危惧種¹⁰⁾のエサキアメンボ^{*Limnporus esakii*}に注目し、野外調査¹¹⁾¹²⁾やモデル解析¹²⁾¹³⁾による研究を行ってきた。その結果、流域内の貴志川地区と打田地区において、空間明示モデル(パッチ占有モデル)によるエサキアメンボのメタ個体群成立範囲推定の妥当性を導くことに成功した。また、貴志川地区では、約120年前から近年に至るまで、そして現在においてもメタ個体群成立範囲が縮小している

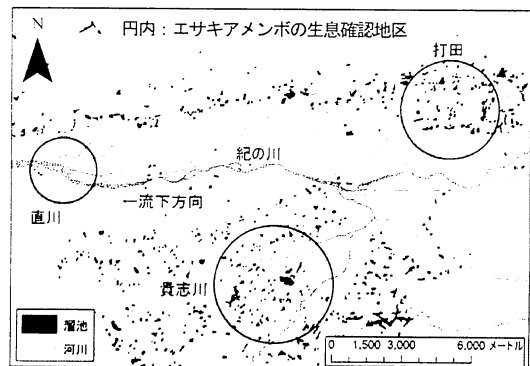


図-1 研究対象地域

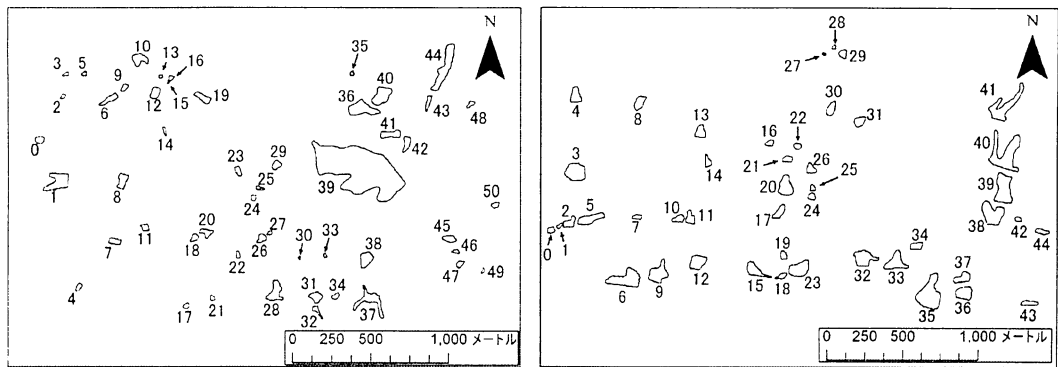


図-2 貴志川地区および打田地区における調査対象の溜池（左：貴志川地区，右：打田地区）

顕著な傾向が見られないのに対し、打田地区では、約120年前から現在までの間にメタ個体群成立範囲が大きく縮小した可能性が示唆された。すなわち、貴志川地区では、現在の溜池の分布や環境を保持していくことができれば、長期間に渡って個体群の存続する可能性が高いが、打田地区では、現在の環境条件であれば、個体群の絶滅確率が相対的に高いことが推察された。

両地区の溜池群を生息場として今後も維持していくためには、生息場として重要な溜池を抽出するとともに、必要に応じてその中のいくつかの溜池で抽水植物群落を再生または創出することが望まれる。しかし、先行研究^{11)~13)}においては、メタ個体群の生息地となっている可能性が高い溜池を抽出するにとどまっている。

そこで、両地区において、エサキアメンボの移動定着を促進する機能の高い溜池やメタ個体群存続に影響の少ない溜池を明らかにすることを目的し、2009年に追加の野外調査およびモデル解析を実施した。本稿では、これらによって得られたエサキアメンボのメタ個体群構造に関する新たな結果を報告する。

2. 研究方法

(1) 概要

本研究では、まず2009年に野外調査を実施して溜池の抽水植物群落面積を調べ、2006年の調査結果¹²⁾との違いを比較した。溜池の植生状態はエサキアメンボの生息にとって最も重要な要素であり、その変化はメタ個体群成立範囲に影響を及ぼす。そこで、次に抽水植物群落面積の違いがメタ個体群成立範囲に与える影響を考察するために、空間明示モデルを用いたモデル解析（以下「新解析」と呼ぶ）を実施してメタ個体群成立範囲を推定し、その結果と先行研究の解析結果（2006年の植生情報を用いた解析結果、以下「旧解析」と呼ぶ）¹³⁾との比較を行った。また、新解析結果に基づき、エサキアメンボの移動定着

を促進する機能の高い溜池やメタ個体群存続に影響の小さい溜池の抽出を行い、メタ個体群成立範囲の構造を詳しく分析するとともに、打田地区においては既存溜池の抽水植物群落の増加によるメタ個体群成立範囲拡大の可能性を検討した。

(2) 野外調査

溜池の植生状態を把握するために、2009年6月に貴志川および打田の両地区で野外調査を実施した（図-2）。野外調査では、溜池の外周から、特定の種構成、単位的な生育条件および単位的な相観をもつ植生を群落¹⁴⁾として区分して、その群落の形状を周囲長、幅、奥行き等の距離を10cm刻みで測定した。この結果をもとに各群落の面積を算出した。なお、池の外周からの測定が困難な場合には、地形図および航空写真から群落面積を推定した。また、水面上の植物群落については、構成植物種名、および各群落の各植物種がその群落の面積に対して占める被覆割合（植被率）を百分率で記録した。

エサキアメンボはヨシやマコモなどの抽水植物群落内で発見される¹⁰⁾。また、生息の可否は溜池内の抽水植物群落の面積と植被率に関係すると推察されている。先行研究^{12)~13)}では、両地区に共通する条件として、水面上の抽水植物群落の植被率80%以上、群落面積6m²以上が得られている。そこで、本稿ではこの条件を満たす抽水植物群落の面積を植生面積と呼ぶことにする。図-3および図-4は、2004年と2006年の野外調査結果に基づき、生息池（野外調査で生息を確認した溜池）、潜在生息池（生息条件を満たすが生息は確認できなかった溜池）、および生息不適池（生息条件を満たさない溜池）に分類した結果を示している。

(3) モデル解析

a) 空間明示モデル（パッチ占有モデル）

空間明示モデル^{15)~16)}は、パッチの大きさ（今回は植生面積）、パッチの空間的な位置（今回は溜池間の距離）、各

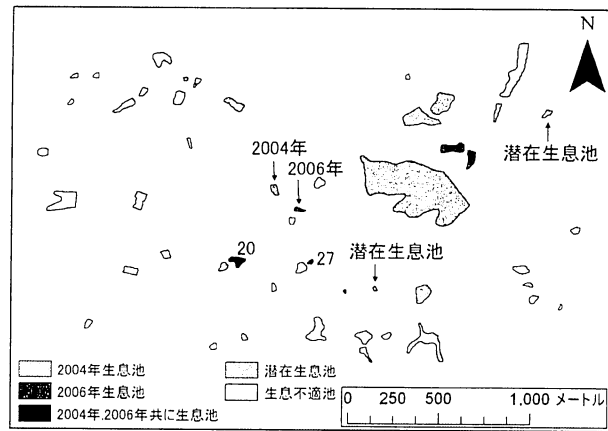


図-3 生息地と潜在生息地の分布(貴志川地区)^{12),13)}

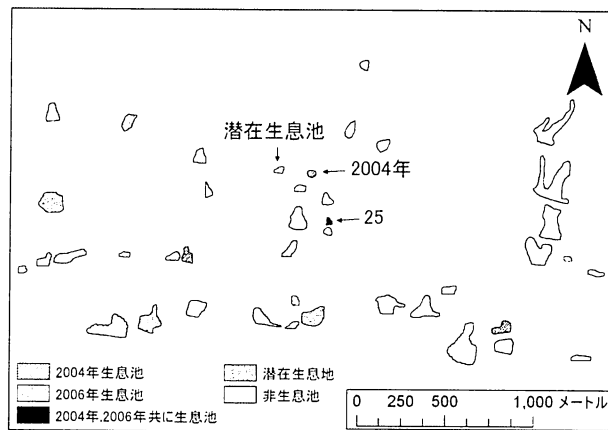


図-4 生息地と潜在生息地の分布(打田地区)^{12),13)}

パッチの対象生物の有無およびその移動能力で構成されるパッチ占有モデルと呼ばれている。なお、ここで使われている「占有」とは排他的に対象種が存在することではなく、対象種がそのパッチに「存在」することを示す。パッチ占有モデルの基礎式は次の4つで表される。

$$\text{占有率} \quad J_i = \frac{1}{1 + \left(1 + \frac{y'}{S_i}\right)^2 \frac{e}{A_i^x}} \quad (1)$$

$$\text{移住率} \quad C_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{y'}{S_i}\right)^2} \quad (2)$$

$$\text{絶滅率} \quad E_i = \frac{e}{A_i^x} \quad (A_i > e^{1/x}), \quad E_i = 1 \quad (A_i \leq e^{1/x}) \quad (3)$$

$$\text{孤立度} \quad S_i = \sum p_j \exp(-\alpha \cdot d_{ij}) A_j \quad (4)$$

ここに、 J_i : 移住と絶滅が動的平衡状態にある場合にパッチ*i*が占有されている確率(占有率)、 C_i : 空のパッチ*i*に移住してくる確率(移住率)、 E_i : 占有パッチ*i*で翌年ま

で絶滅する確率(絶滅率)、 S_i : 孤立度(パッチ*i*への移入個体数の指標)、 A_i : パッチ*i*の面積(植生面積)、 y' : 種の移住率の変化率を示す定数、 e, x : 定数、 p_j : パッチ*j*の占有状態を表す定数(占有:1, 空:0)、 α : 移動率を表す定数、 d_{ij} : パッチ*j*間の距離(溜池間の距離)である。なお式(4)は孤立度^{9),16)}またはコネクティビティ^{17),18)}と呼ばれており、周辺パッチからの移入個体数が多いほど S_i が大きくなるので、 S_i が大きいほどパッチ*i*は孤立していないことになる。

以上の式(1)から式(4)で表されるパッチ占有モデルは、4つのフィッティングパラメータ(y', e, x, α)を含むため、対象地に適した値を求める必要がある。各定数の値が決まれば、空パッチは式(2)、占有パッチには式(3)を用いて、次世代(今回は便宜的に翌年とする)の占有状態をパッチごとに求める。これを繰り返すことで、メタ個体群の時間的な変化を予測できる。

今回の解析では、先行研究^{12),13)}と同様に、2004年の調査で得られた生息分布から1年後と2年後の分布を求め、2年後の解析結果が2006年に調査した実測分布に近くな

ること、および式(3)の $e^{1/x}$ が植生群落規模の最小値である $6m^2$ となるようにパラメータを試行錯誤的に求めた。具体的には、貴志川地区では図-3に示した溜池20と27が生息池となることを、打田地区では図-4に示した溜池25が生息池となることを重視した。また、次世代の占有状態は、空パッチでは移住率が0.7以上、占有パッチでは絶滅率が0.3以下になった場合に生息と判定している。すなわち、本種が生息していない溜池(未生息池)の場合には移住率が0.7以上であれば移入により、本種が生息している溜池(生息池)の場合には、絶滅率が0.3以下であれば存続により生息池と判定される。解析期間はメタ個体群成立範囲がほぼ動的平衡に達する6年間とした。

モデル構築に必要な溜池面積と溜池間(パッチ間)距離は、国土地理院発行の数値地図25000(地図画像)を用いてArcGIS Ver9.3(ESRI社)上で算定した。植生面積は、ArcGISとPixs2000 Pro(inotech社)を用い、野外調査結果と数値地図25000から算定した。なお植生面積は、エサキアメンボの生息場となるヨシ、マコモ、またはガマが優占の植生群落についてのみ考慮した。パッチ間距離は溜池の重心間の距離として算出した。モデルの構築および計算にはMicrosoft Excel 2003 VBAを使用した。

b) 解析1 (植生面積の影響)

2009年の野外調査で得られた植生面積を使ってモデル解析を実施し、メタ個体群成立範囲の推定を行った。また、野外調査で得られた2006年と2009年の植生状態の違いがみられたので(後述)、本解析結果と先行研究の結果(2006年の植生面積に基づいたメタ個体群成立範囲)を比較した。なお、今回のモデル解析の初期値(開始年の生息分布)には2004年の生息情報を用いている。また、植生面積の経時変化は考慮せず、解析期間中は定常状態にあると仮定した。すなわち、ここでは野外調査で得られた実際の植生情報に基づいて、植生状態の違いに対するメタ個体群の応答を見ることになる。なお、溜池の植生状態に関する情報は、現時点では2006年と2009年のものしかなく、植生面積の経時変化を考慮した詳細なモデル解析を実施するには十分でないため、植生の経時変化に対するメタ個体群の応答は対象外とした。

c) 解析2 (メタ個体群成立範囲の構造)

2009年の植生面積をパッチ面積とした解析結果(新解析結果)を利用して、エサキアメンボの移動定着を促進する機能の高い溜池やメタ個体群存続に影響の小さい溜池の抽出を行うことで、メタ個体群成立範囲の構造を分析した。今回の解析では、前年に本種が未生息の溜池の場合、移住率0.7以上が周辺溜池からの移入が可能な条件としている。移住率0.7以上は先行研究¹³⁾で得られた $y^*(=30)$ を用いて孤立度に直すと45.826以上になる(式(2)参照)。溜池 i の孤立度は周辺の溜池 j の植生面積 A_j と溜池

表-1 抽水植物群落の存在する溜池の2006年と2009年の植生面積

貴志川			打田		
溜池番号	植生面積(m ²)		溜池番号	植生面積(m ²)	
	2006年	2009年		2006年	2009年
10	-	292.6	3	2024.6	1518.5
12	-	145.8	6	3406.5	2725.2
19	1059.3	612.8	8	575.4	-
20	1317.5	893.2	9	1443.0	2254.6
23	167.9	148.6	10	132.4	110.4
24	40.9	-	13	214.6	178.8
25	194.1	159.9	14	111.7	-
27	494.2	395.4	16	244.0	271.4
29	357.9	96.2	19	712.1	791.3
35	331.8	-	22	699.3	762.9
36	3210.4	1874.4	25	181.9	816.7
38	830.2	714.2	26	647.5	599.5
39	4559.1	3883.0	29	-	268.5
40	4238.8	3103.0	32	-	830.0
41	1667.8	1513.2	34	-	777.2
42	588.9	511.3	37	202.3	404.5
43	382.3	326.1	44	-	589.9
47	548.0	483.8			
48	616.3	487.3			

- は植生なし

間の距離 d_{ij} によって決まるため(式(4)参照)、溜池間距離が近く(d_{ij} が小さく)、植生面積 A_j が大きい溜池 j に生息する個体群ほど、溜池 i に生息する個体群の孤立度へ与える影響が大きい。換言すると、ある溜池 i に複数の周辺溜池からの移入がある場合(ある単一の溜池の個体群の孤立度が複数の周辺溜池の個体群の影響で45.826を超える場合)、対象となる溜池 i の個体群の孤立度に影響を与える周辺溜池 j の影響を詳しく分析することで、その溜池におけるエサキアメンボの占有状態に影響を与える溜池を抽出できる。そこで、孤立度を指標にメタ個体群成立範囲の構造の考察を試みた。なお、これより個々の溜池に生息する個体群を局所個体群と呼ぶことにする。

3. 結果と考察

(1) 野外調査結果 (2006年と2009年の植生面積の比較)

表-1は抽水植物群落の存在する溜池の2006年と2009年の植生面積を示している。なお、2009年の植生面積が2006年の植生面積と比較して増加しているものを白抜き文字で表記している。貴志川地区では植生面積の減少している溜池が多く、打田地区では逆に増加している溜池が多かった。また、貴志川地区の溜池39や打田地区の溜池25,37のように植生面積が2倍以上増加している溜池、貴志川地区の溜池24や打田地区の溜池8,14のように植生が失われた溜池など、数は多くないが植生状態が大きく変化した溜池も存在した。なお、植生面積の変化の要因は、植物の成長や枯死、工事や人為的刈り取りなどによる人工的環境変化、増水・取水などともなう水位変化による目視可能な水面上群落の変化などが考えられる。

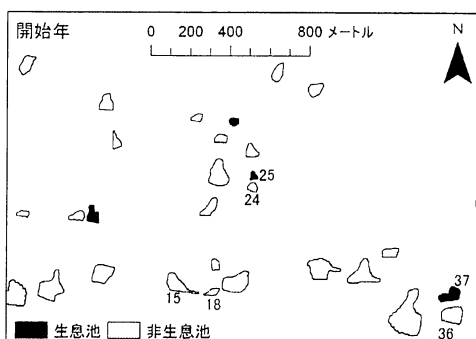
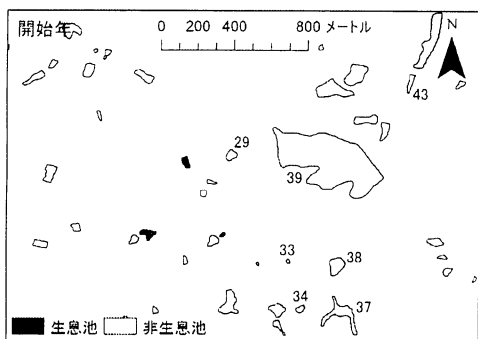


図-5 モデル解析開始年の生息分布(左:貴志川地区, 右:打田地区)

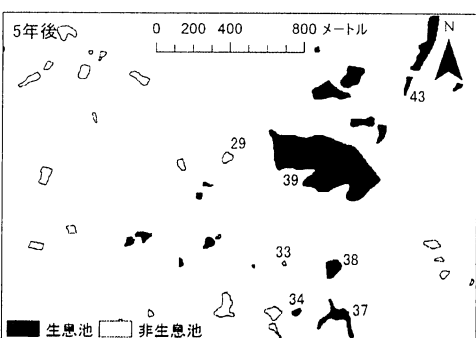
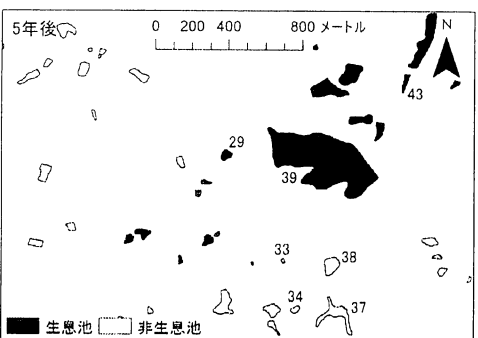
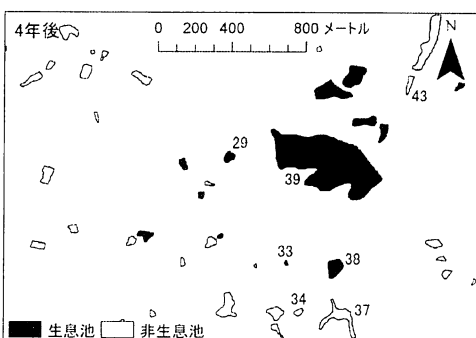
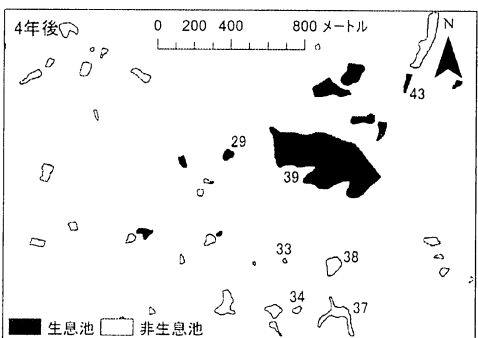
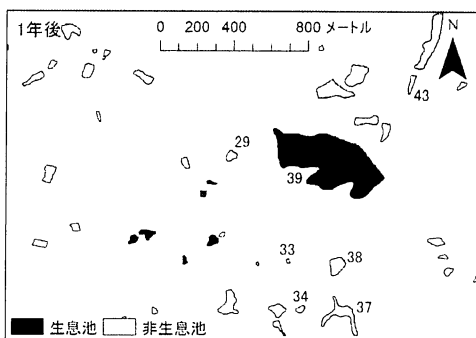
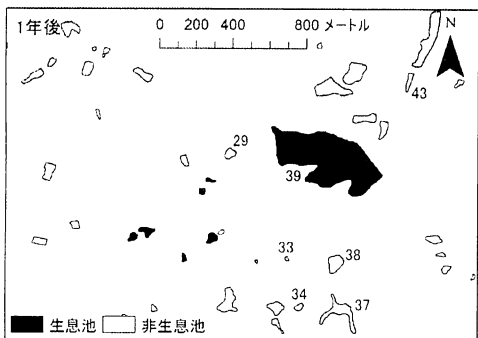


図-6 貴志川地区のモデル解析結果(左:旧解析結果, 右:新解析結果) ($\alpha=0.01, y'=30, e=1.7, x=0.296$)

(2) 解析1 (植生面積の影響)

図-5はモデル解析の初期値として設定した2004年の生息情報(野外調査結果)を示している。また、図-6と図-7は貴志川地区および打田地区のモデル解析結果の一

部を示している。両地区を対象としたモデル解析では、5年後にメタ個体群成立範囲が動的平衡状態に達し、以降は4年後と5年後の状態の繰り返しとなった。そこで、ここでは1年後に加えて、4年後、5年後の結果を示して

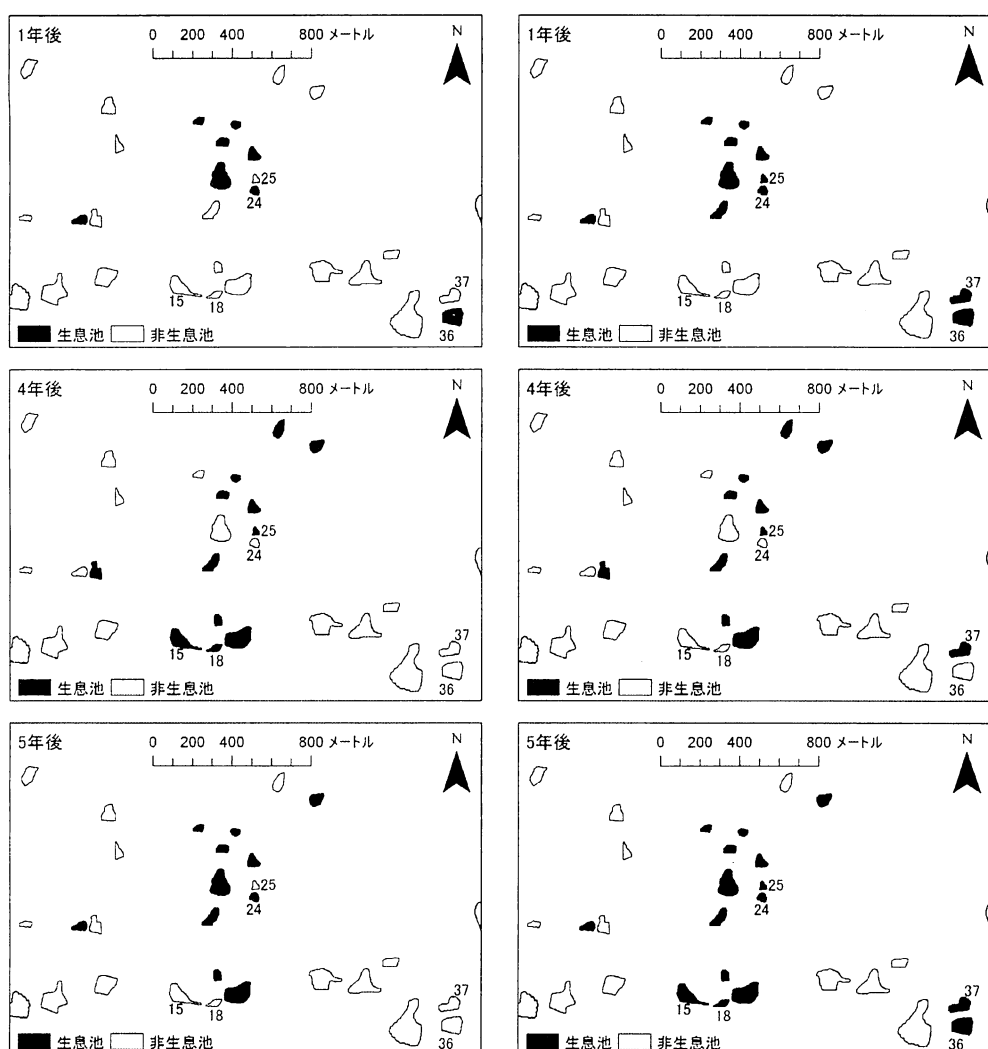


図-7 打田地区のモデル解析結果(左:旧解析結果, 右:新解析結果) ($\alpha=0.01, y'=30, e=1.7, x=0.296$)

いる。両図とも左が2006年の植生面積を利用した結果(旧解析結果), 右が2009年の植生面積を利用した結果(新解析結果)である。なお, 両解析で使用したフィッティングパラメータの値は先行研究¹³⁾と同じである。

貴志川地区(図-6)においては, 旧解析で非生息池と判定された溜池33,34,37,38が新解析では生息池(隔年で生息地となる溜池を含む)になっている。ただし, それ以外の溜池では生息池と判定される年が異なる(溜池29,43)ことを除けば, メタ個体群成立範囲に大きな違いは見られない。全体の傾向として, 新解析ではメタ個体群成立範囲が大きくなっている。新解析で生息池と判定された溜池33,34,37,38は, 初期値となる2004年の野外調査では生息が確認されていないので, 新解析で生息池と判定されたのは, 周辺溜池からの移入が原因である。そこで, 表-1で周辺溜池の植生面積の違いを見てみると,

地区内で最大面積を持つ溜池39の2009年の植生面積だけが大幅に増加している。4つの溜池を含めた周辺溜池では植生面積の増加が見られないので, 新解析で生息池と判定されたのは, 溜池39からの移入が原因と推察される。メタ個体群には, パッチへの移入が大きなパッチ(大陸と呼ばれる)から絶え間なく起こる大陸モデルとパッチへの移入が同程度の他のパッチからのみ起こる島モデルがあるが¹⁶⁾, 新旧解析結果の比較から, 貴志川地区のメタ個体群は溜池39の局所個体群を中心とした大陸モデルに合致する様相を呈していることが示唆される。そこで, 解析2ではこのことについての検討を行った。

続いて, 打田地区(図-7)においては, 旧解析で非生息池と判定された溜池36や溜池37が新解析では生息池になっている。その他の溜池では生息池と判定される年が異なる(溜池15,18,25)ことを除けば, メタ個体群成立範

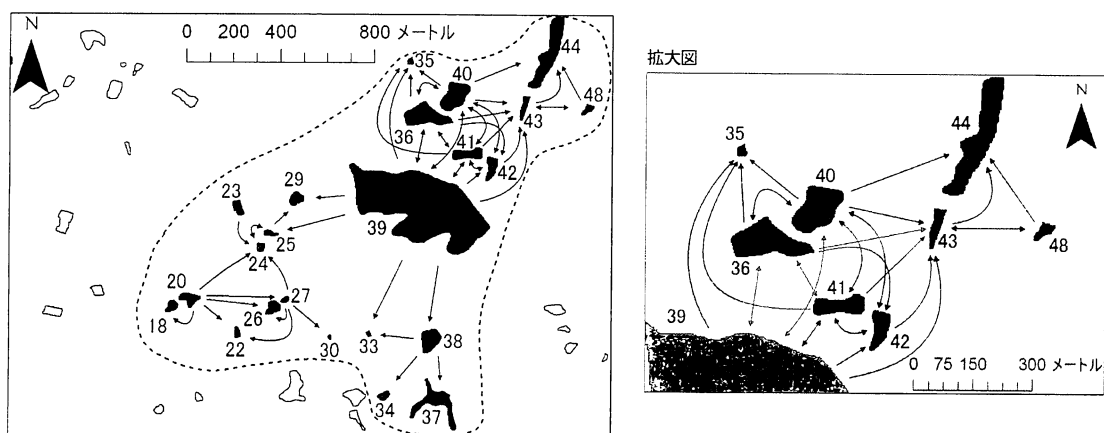


図-8 貴志川地区におけるメタ個体群成立範囲の構造分析結果

図に大きな違いは見られない。全体の傾向として、新解析ではメタ個体群成立範囲が大きくなっている。新解析で生息池と判定された溜池37は開始年にあたる2004年の野外調査では生息池であったが、2006年には生息が確認されていない。また、旧解析でも非生息池と判定されている。このことから、旧解析で使用した2006年の植生状態は、エサキアメンボの生息にとって十分でなかったことが示唆される。しかしその一方で、新解析では生息池と判定されており、これは溜池37の植生面積倍増が原因の可能性が高い(表-1参照)。2009年の植生面積では、溜池37の絶滅率が0.29であり、生息池と判定される条件(0.3以下)を満たしている。ただし、周辺の溜池では植生面積がそれほど大きく増加しているわけではないので、隣接する溜池36が生息池となるにとどまると推察される。以上のことから、溜池37は、2006年の植生状態では生息池として十分でないが、2009年の植生状態であれば生息池として存続可能と判断できる。ただし、周辺の生息池からは孤立していると思われる。

以上、貴志川地区と打田地区のメタ個体群成立範囲に関していくつか新しい知見を得ることができた。2009年の植生状態があれば、両地区ともメタ個体群成立範囲は大きくなるが、その傾向に違いが見られる。貴志川地区では、メタ個体群は溜池39の局所個体群を中心とした大陸型で形成される可能性が高く、この溜池の植生面積の増加が周辺溜池の局所個体群に与える影響が大きい。このため、他の多くの溜池の植生面積が小さくなっているにもかかわらず、メタ個体群成立範囲が拡大している。一方、打田地区では、植生面積の増加により、溜池36や溜池37のように生息池になることができる溜池は増えるが、これらは周辺溜池から孤立している可能性が高い。

(3) 解析2 (メタ個体群成立範囲の構造)

a) 貴志川地区

図-8は貴志川地区におけるメタ個体群成立範囲の構造分析結果を示している。図中にはある溜池の局所個体群が他の溜池の局所個体群の孤立度に与える寄与率(式(5))が50%以上の場合に矢印を引いている。

$$G_{ij} = \frac{\exp(-\alpha \cdot d_{ij}) A_j}{45.826} \quad (5)$$

なお、ここでいう寄与率とは孤立度45.826に対する割合であり、100%以上の場合には、溜池*i*が周辺溜池*j*からの移入のみで生息地となりうることを示す。すなわち、図ではエサキアメンボの移動定着の可能性が高い経路を示している。

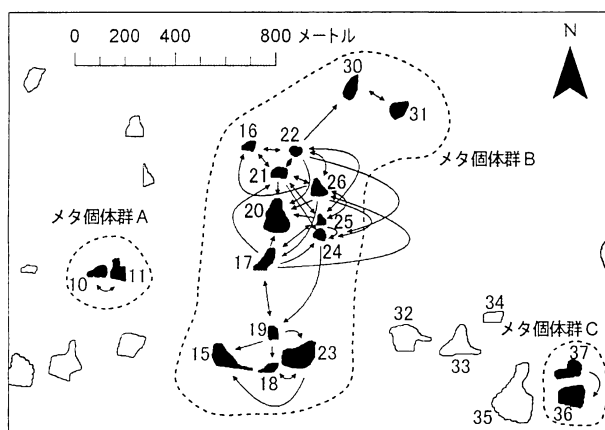
図8によると、生息地と判定された溜池は全て矢印で結ばれており、貴志川地区では1つの大きなメタ個体群として維持されることが示唆される。また、溜池39から最も多くの矢印が出ており(溜池39の寄与率が高い経路が多く)、溜池39ほどではないが、溜池20からも多くの矢印が出ている。そこで、溜池39と20の局所個体群の影響を詳しく検討する。表-2と表-3は溜池39と溜池20の局所個体群が他の溜池の局所個体群の孤立度に与える寄与率を示している。表中では溜池29や溜池33のように溜池39の局所個体群の影響のみで生息池になることが可能な溜池(寄与率100%以上の溜池)を白抜き文字で表示している。表-2から、溜池39近辺の溜池を中心に約30%の溜池が溜池39の局所個体群の影響のみで生息池になることがわかる。それ以外にも、溜池25,30,35,43のように溜池39の局所個体群の影響が非常に大きい溜池も存在し、両者を合わせると約50%に上る。同様に表-3を見てみると、溜池20の局所個体群のみの影響で生息池になることができる溜池は約10%で、溜池24,26,27のように溜池20の局所個体群の影響が大きい溜池を合わせても約

表-2 溜池39の局所個体群が他の溜池の局所個体群の孤立度に与える寄与率(貴志川地区)

溜池39			
溜池番号	寄与率(%)	溜池番号	寄与率(%)
18	0.07	34	13.54
20	1.05	35	83.36
22	0.29	36	668.43
23	4.27	37	11.35
24	19.63	38	128.64
25	62.05	40	260.08
26	22.69	41	1439.99
27	39.05	42	964.38
29	179.45	43	85.24
30	48.05	44	9.81
33	0.05	48	12.59

表-3 溜池20の局所個体群が他の溜池の局所個体群の孤立度に与える寄与率(貴志川地区)

溜池20			
溜池番号	寄与率(%)	溜池番号	寄与率(%)
18	933.66	35	0.01
22	206.42	36	0.02
23	37.64	37	0.07
24	68.12	38	0.17
25	36.22	39	0.14
26	78.05	40	0.01
27	50.45	41	0.01
29	7.33	42	0.01
30	7.43	43	0.00
33	1.80	44	0.00
34	0.47	48	0.00



拡大図

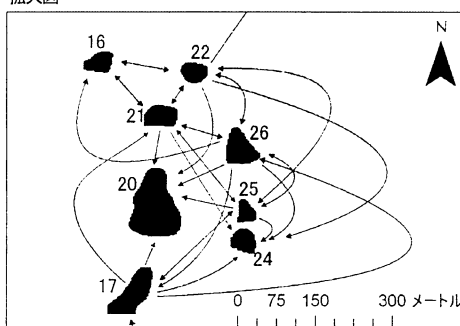


図-9 打田地区におけるメタ個体群成立範囲の構造分析結果

20%しかなく、溜池39の局所個体群ほど周辺の局所個体群に与える影響は大きくない。

以上より、貴志川地区では点線で囲まれる1つの大きなメタ個体群が形成され、また前章で述べたように溜池39の局所個体群がメタ個体群の中心になると推察される。加えて、溜池20の局所個体群も周辺溜池の局所個体群に与える影響が大きい。すなわち、貴志川地区のメタ個体群成立範囲は溜池39と溜池20の局所個体群を中心とした大陸モデルに近い状態であるが、他の局所個体群もその周りの局所個体群に影響を与えており、大陸モデルと島モデルの複合型になると言える。よって、貴志川地区では溜池39と溜池20を重点的に保全していくこと(溜池39と20に生息する局所個体群を重点的に保護していくこと)で、メタ個体群成立範囲存続の可能性が高くなると考えられる。

b) 打田地区

打田地区においても貴志川地区と同様の分析を行った。その結果を図-9に示す。この図より、打田地区には貴志川地区の溜池39のような中心になる溜池は存在しないが、溜池21,22,26などいくつかの局所個体群は周辺の複数の局所個体群に影響を与えることがわかる。また、

打田地区のメタ個体群成立範囲は点線で囲まれた3つに分けられる可能性が高い。溜池11と溜池37では、2004年の野外調査においてエサキアメンボの生息が確認されているが、2006年には確認されていない。このため、現時点での生息の有無についての正確な判断は難しいが、もしこれらのメタ個体群がまだ存続している場合、規模の小さなメタ個体群は溜池の環境変化の影響を受けやすいので、3つに分かれているメタ個体群を単一のメタ個体群として維持することが理想的である。

そこで、3つのメタ個体群を連結して単一のメタ個体群にするための条件を検討した。ここでは、図右の溜池群(溜池36と37)と中央の大きな溜池群の間に存在する溜池32,33,34,35を生息池とすることで、両メタ個体群を連結することが可能か、および図左の溜池群(溜池10と11)と中央の大きな溜池群に生息する局所個体群の間の連結性を高めることで(お互いの寄与率を上げることで)、両メタ個体群を連結することが可能かを検討した。これより、左、中央、右の溜池群に生息する個体群をそれぞれメタ個体群A、B、Cと呼ぶ。

表-4は対象となる溜池11,32,33,34,35の局所個体群の孤立度に影響を与えている局所個体群の寄与率を示して

表-4 溜池 11,32,33,34,35 の局所個体群の孤立度に影響を与えている局所個体群の寄与率（打田地区）

溜池番号	寄与率(%)				溜池番号	寄与率(%)
	溜池32	溜池33	溜池34	溜池35		
10	0.00	0.00	0.00	0.00	12	0.15
11	0.01	0.00	0.00	0.00	14	0.07
15	0.00	0.00	0.00	0.00	15	0.02
16	0.09	0.02	0.01	0.00	16	0.93
17	4.73	0.78	0.33	0.05	17	7.30
18	1.10	0.18	0.04	0.02	18	0.26
19	14.54	2.18	0.63	0.22	19	4.36
20	0.00	0.00	0.00	0.00	20	0.01
21	0.59	0.14	0.10	0.01	21	1.15
22	0.73	0.20	0.17	0.01	22	0.79
23	18.88	4.97	1.28	0.58	23	0.70
24	0.02	0.00	0.00	0.00	24	0.00
25	10.03	2.35	1.51	0.14	25	1.00
26	2.75	0.73	0.56	0.05	26	0.57
30	0.04	0.02	0.02	0.00	30	0.01
31	0.24	0.14	0.23	0.01	31	0.01
36	0.00	0.02	0.04	0.28	計	17.31
37	2.20	14.62	30.80	97.58		
計	55.94	26.35	35.71	98.95		

いる。表には、モデル解析で生息池と推定された全ての溜池の数値を示している。この表から、メタ個体群BとCの連結に重要な溜池35には溜池37の局所個体群の影響が大きいことがわかる。溜池35が生息池となる条件(寄与率100%以上)を満たすには、溜池37の植生面積を6m²増加させればよい。この値は比較的現実的な値と言える。しかし、他の溜池の局所個体群が条件を満たすためには、例えば、溜池35に次いで溜池37に近い溜池34においては、溜池37の植生面積を900m²以上増やす必要がある。また、もし仮に溜池37の植生面積が6m²増えて溜池35が生息池になった場合でも、溜池35の植生面積が600m²以上でなければ、溜池34は生息池と判定されない。溜池34よりも溜池37や35から遠い溜池32と33ではそれ以上の植生面積が必要である。

続いて、メタ個体群Bの影響で溜池32が生息池となるための条件を求めてみると、例えば寄与率の比較的大きな溜池23の植生面積を1000m²以上増やさねばならない。溜池23と同程度の寄与率を示す溜池19や25の植生面積を増やす場合も同じである。3つの溜池の植生面積を同時に増やす場合でも、それぞれ600m²以上増やす必要がある。表-1に示した植生面積で600m²を超えているものは少なく、また増加量が600m²以上のものほとんどないことから、人工的に植生面積を600m²以上増加させることは現実的ではない。すなわち、メタ個体群BとCを、それらの間にある4つの溜池を生息池とすることで連結することは困難と思われる。

一方、メタ個体群AとBを連結するためには、溜池11に近い溜池15,17,19,20などの局所個体群の寄与率を上げてこれらの溜池から溜池11への移入を強く促進するか、溜池11の局所個体群の寄与率を上げてこの溜池から溜池15,17,19,20などへの移入を強く促進する必要がある。

しかし、前者の場合、どの溜池においても植生面積を1000m²以上増加させても寄与率が50%に達しない。また、溜池15,17,19,20に対する溜池11の寄与率は2.36%,1.86%,0.83%,0.84%であり、溜池11の植生面積を1000m²増やしても、寄与率を50%まで引き上げることはできない。すなわち、両メタ個体群間の連結性を高めることは困難と思われる。

以上より、打田地区の3つのメタ個体群を連結して1つのメタ個体群にすることは極めて難しいと判断される。そこで、打田地区では最も規模の大きなメタ個体群が形成される中央の溜池群を重点的に保全していくことが重要で、これらを島状の機能を果たす局所個体群の生息池として維持できれば、メタ個体群成立範囲存続の可能性が高まると考えられる。

4. おわりに

本研究では、紀の川流域の生息地におけるエサキアメンボのメタ個体群成立範囲およびその構造を、2009年に実施した野外調査および空間明示モデルから考察した。その結果、貴志川地区では1つの大きなメタ個体群が形成され、溜池39と溜池20の局所個体群を中心とした大陸モデルと島モデルの複合型になることが示唆された。このことから、貴志川地区では溜池39と20を重点的に保全していくことが重要であり、そうすることでメタ個体群存続の可能性が高くなる。一方、打田地区のメタ個体群は3つに分かれ、それぞれ独立して維持される傾向が示された。また、規模の小さな2つのメタ個体群の維持を目的に、3つのメタ個体群を連結して1つにする条件を検討したが、その可能性を示すことはできなかった。そこ

で、打田地区では規模の一番大きなメタ個体群を形成する溜池群を優先的に保全していくことが、本地区におけるメタ個体群存続のためには重要と考えられる。

謝辞：本研究は、(財)住友財団・平成20年度環境問題助成「文化的景観の保存および再生における生物調査の視座確立と生物多様性保全との連携(代表：中尾史郎)」の助成の一部を受けて行われました。

参考文献

- 1) 江崎保男, 田中哲夫(編著)：水辺環境の保全 生物群集の視点から, 朝倉書店, p.220, 1998.
- 2) 浜島繁隆(編著)：溜池の自然 生き物たちと風景, 信山社サイテック, p.231, 2001.
- 3) 内田和子：日本の溜池 防災と環境保全, 海青社, p.270, 2003.
- 4) 文化庁文化財部記念物課：「農林水産業に関連する文化的景観の保護に関する調査研究(報告)」について, 月刊文化財, Vol.480, pp.1-62, 2003.
- 5) 神吉紀世子：「ただならぬ普通」の再発見～農山漁村景観を文化的景観として継承する～, 2008年度日本建築学会大会 農村計画部門パネルディスカッション資料, pp.7-10, 2008.
- 6) 兵庫県稲美町：文化的景観「稲美の溜池群」, 保存活用計画報告書, p.101, 2006.
- 7) 工藤和美：兵庫県稲美町いなみ野溜池ミュージアムの試み, 2008年度日本建築学会大会 農村計画部門パネルディスカッション資料, pp.85-88, 2008.
- 8) Levins, R.: Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control, Bulletin of Entomological Society of America, Vol.15, pp.237-240, 1969.
- 9) Hanski, I. and Simberloff, D.: The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation (In: Hanski, I. and Gilpin, M. eds.), "Metapopulation biology: ecology, genetics, and evolution", Academic Press, San Diego, USA, pp.5-26, 1997.
- 10) 環境省自然環境局野生生物保護課：改訂 日本の絶滅のおそれのある野生生物, レッドデータブック 自然環境研究センター, p.246, 2006.
- 11) 山尾あゆみ, 中尾史郎：紀の川周辺の溜池群における両生半翅類の分布 (I) (アメンボ科, イトアメンボ科), 南紀生物, Vol.47, No.1, pp.69-73, 2005.
- 12) 中尾史郎, 江種伸之：紀の川流域におけるエサキアメンボのメタ個体群構造, 環境情報科学論文集, Vol.21, pp.99-104, 2007.
- 13) 徳田裕二, 中尾史郎, 江種伸之：紀の川流域の生息池におけるエサキアメンボの空間分布, 環境システム研究論文集, Vol.37, pp.39-47, 2009.
- 14) ブラウン・ブランケ(著), 鈴木時夫(訳)：植物社会学 I, 朝倉書店, 359p., 1971.
- 15) Hanski, I.: A practical model of metapopulation dynamics, Journal of Animal Ecology, Vol.63, pp.151-162, 1994.
- 16) 樋口広芳(編著)：保全生物学, 東京大学出版会, pp.134-139, 1996.
- 17) Hanski, I.: Spatially realistic theory of metapopulation ecology, Naturwissenschaften, Vol.88, pp.372-381, 2001.
- 18) Moilanen, A. and Nieminen, M.: Simple connectivity measures in spatial ecology. Ecology, Vol.83, pp.1131-1145, 2002.

PREDICTION OF METAPOPOPULATION PERSISTENCE OF WATER STRIDER, *LIMNOPORUS ESAKII* IN THE KINOKAWA WATERSHED BASED ON PATCH OCCUPANCY MODEL

Nobuyuki EGUSA, Yuji TOKUDA and Shiro NAKAO

Spatial distribution of metapopulations in a water strider, *Limnporus esakii* inhabiting habitat patches in the Kinokawa River Watershed were specified through field investigations in 2009 and model analysis using a patch occupancy model. Furthermore, characteristics of the metapopulations in Kishigawa and Uchida regions were inferred from vegetation of irrigation pond and distance between irrigation ponds. The field investigation and model analysis suggested that the metapopulation in the Kishigawa region was a single large population and that in the Uchida region was divided into three units. Moreover, the model analysis succeeded in deriving the important irrigation ponds to preserve the metapopulations.