

都市域におけるビオトープの連続性評価及びエコロジカルネットワークの形成に関する研究

Evaluation of biotope connectivity and planning of ecological network in urban landscape

○李 承恩* 盛岡 通** 藤田 壮***
○Seung Eun Lee* Tohru Morioka** Tsuyoshi Fujita***

ABSTRACT: This study is to evaluate and plan ecological network of waters and greenspaces in urban landscape. The dragonfly, which is closely connected with Japanese culture and familiar nature, is chosen as indicator. For this purpose, firstly, the impact of biotope connectivity on species richness is estimated, in which several connectivity index are compared. Secondly, the relationship between occurrence probability of individual species as well as species richness and biotope factors -pond area, pond connectivity, greenspace connectivity- is investigated using multiple regression analysis, and species richness of each biotope is predicted. Thirdly, biotopes are classified on the basis of criteria for selecting ecological network elements-core area, nature development area, corridor-by rating assessment. Furthermore, the effects of biotope creation, that is the creation of 1ha pond in open space of seven public facilities, for the development of ecological network is predicted.

From this study, it is expected that more robust models to evaluate landscape planning scenarios for biodiversity conservation will be constructed and guidelines for the design of dragonfly biotope network including ecologically sustainable land-use system be developed.

KEYWORDS; biotope, connectivity, biodiversity, ecological network

1. はじめに

ランドスケープにおけるビオトープの空間的配置, すなわち, ネットワークや連続性はビオトープの生態的質やサイズとともに生物の生息に重大な影響を与える。景観生態学分野ではビオトープの連続性と種の個体群(population)変動及び生息種数との定量的関係に関するデータや生態的情報が徐々に蓄積されている。一方, 分断されたビオトープを繋げて生態的機能や多様性を回復・保全するためのランドスケープ計画やデザインが活発に議論, 実行されているが, その代表的なものがエコロジカルネットワーク(ecological network)の計画である。

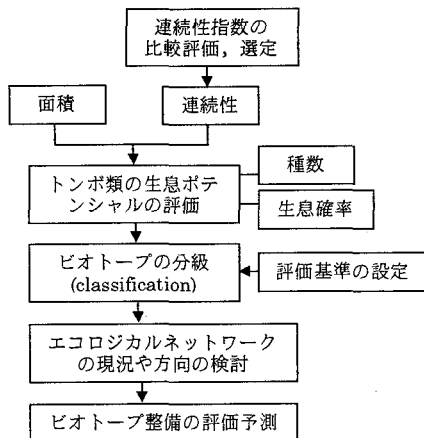


図-1 本研究の流れ

エコロジカルネットワークを計画するためには, まず, ビオトープの空間構造と生物生息との対応関係を明確にして, 対象地に分布するビオトープの生態的ポテンシャルを評価することが基盤情報の提供という側面から必要である。李ほか(1998)¹⁾は都市域における身近な緑地や水辺のエコロジカルネットワークの形成を目指して, 大阪府枚方市を対象にトンボ類を指標としたビオトープの評価をおこなった。その結果によるとトンボ類の生息種数は池の面積ともっとも大きな対応関係があり, 樹林及び草地の面積ともある程度相関関係がある。また, 李ほか(1999)²⁾では池や緑地の連続性とトンボ種数の対応関係について大まかな傾向を考察した。

本研究では池や緑地ビオトープの連続性とトンボ類の生息との定量的関係に関する分析を進めるとともに, ビオトープごとのトンボ類の生息可能性を評価し, その結果を基にエコロジカルネットワークの形成やビオトープ整備の効果予測を試みる。本研究の流れを図-1に示す。第2章では連続性の評価のためにいくつかの指数を用いて, トンボ種数との相関関係を分析する。第3章ではビオトープの面積と連続性を説明変数としてトンボ種数及び生息確率の予測式を構築し, 対象地の個々のビオ

*大阪大学大学院環境工学専攻 Ph.D.Candidate, Dept.of Environmental Eng., Osaka Univ.

**大阪大学教授 工学研究科環境工学専攻 Professor, Dept. of Environmental Eng., Osaka Univ.

***大阪大学助教授 工学研究科環境工学専攻 Assistant Professor, Dept. of Environmental Eng., Osaka Univ.

トープにおけるトンボ類の生息可能性を評価する。第4章では対象地における個々のビオトープをエコロジカルネットワークの構成要素として分級し、ネットワークの現況や方向を考察する。第5章ではビオトープ整備の効果を予測する。

2. ビオトープの連続性の定量的評価

2.1 連続性の概念

連続性(connectivity)について Clergeau and Burel(1997)⁹⁾は「ビオトープ間の生物の移動・分散を促進、あるいは妨げる程度」であると定義した。ほかにも既存研究でみられる概念を整理すると²⁾ 連続性というのはビオトープが単に隣接していることではなくて、複数のビオトープの間に生物間の相互作用、移動、分散のような生息行動が起こり、お互いに生態的機能が結ばれている状態、またはその連結程度を示す。

ビオトープの連続性の空間的概念は二つの側面から考えられる。まず、地理・地形的連続性として、これは地形や地表面の地殻的条件が同じ類型のものが繋げている状態をいう。同タイプの植生や水辺の連続的分布のような陸上生物の移動通路や線形コリドーが代表的な例である。他に、面的(areal)連続性があり、これはビオトープが生物の移動距離以内に移動障害物なしで分布している状態を示し、飛翔生物においてネットワークの形成条件となる。本研究では飛翔生物であるトンボ類を指標とするので後者の面的連続性に注目する。

2.2 既存研究における連続性の定量化

分断されたビオトープ間のつながりを回復し、生物多様性を保全するためには、エコロジカルネットワーク(Ecological Network)計画のように連続性の概念を都市計画や環境計画の上に反映し、生態的に健全な土地利用を実現することが必要である。それで、各種開発や生息空間の整備などの人為的活動がビオトープ間の連続性や生物生息に及ぼす影響を定量的に評価し、それをもとに生物生息を配慮した空間計画をおこなうべきである。そのためには、まず、ビオトープの連続性の程度を具体的に示す定量的な評価手法が必要となる。

ランドスケープエコロジー分野の研究では、さまざまな類型のビオトープを対象にして、その連続性が生物の生息種数やメタ個体群のサイズなどに与える影響を定量的に評価した例がある。そこで、ランドスケープの空間的パターンを示す孤立度、連結性、ネットワーク、近接性などの指数が連続性を定量化するために用いられた²⁾。その中で代表的なものが線形孤立度指数(linear isolation)と円型孤立度指数(circular isolation)である。線形孤立度指数は同タイプのビオトープまでの最短距離(Shreeve;1992⁸⁾, Clergeau and Burel;1997⁹⁾, Lamberson et al;1994⁶⁾, C.C.Vos et al;1995¹⁰⁾, H.R.Akcakaya et al;1997¹¹⁾), 一定面積以上の同タイプのビオトープまでの距離(Opdam;1991⁷⁾, P.E.Bellamy et al;1996⁹⁾), 種供給原からの距離(Clergeau and Burel; 1997⁹⁾) などのようにある特定のビオトープまでの距離を示すものである。一方、円型孤立度指数としては、一定距離以内にあるビオトープの面積(Opdam;1991⁷⁾, C.C.Vos et al;1995¹⁰⁾, P.E.Bellamy et al;1996⁹⁾)や数(C.C.Vos et al;1995¹⁰⁾), 一定距離内にある線形コリドーの密度(Opdam;1991⁷⁾, P.E.Bellamy et al;1996⁹⁾)などがあげられる。

C.C.Vos et al(1995)¹⁰⁾は池で生息するカエルの生息確率を予測するロジスティックモデルを構築することにおいて、線形孤立度指数と円形孤立度指数を説明変数として取り入れ、その説明力を比べた。その結果、線形孤立度指数より円型孤立度指数の説明力が高いことを確認する一方、さらに、ビオトープまでの実際距離やビオトープ間の環境質を反映する指数の必要性を指摘した。

2.3 本研究における連続性の定量的評価

(1) 指標生物とデータ

本研究では緑地と水域の組み合わせの評価に注目して、種別分布や密度が水辺と緑地の空間構造を反映するなどの理由からトンボ類を指標生物として用いる^{1),2)}。

トンボ類を指標とした場合、ビオトープレベルにおけるミクロ的な空間特性とトンボ相との対応関係を解析した例はあるが^{16),17)}、より広域的な空間スケールにおける水域と緑地の空間的配置やネットワークとの関連性を分析した例はまだない。本研究では後者に注目し、ビオトープの面積や連続性のような空間的立地条件とトンボ相の対応関係について分析する。

分析にあたり、大阪府枚方市における1kmメッシュごとのトンボ類の生息記録データを用いる。また、トンボ類の生息調査が行われた当時の土地利用状況の把握するため同年の1万分の1地形図を基盤に地理情報システム用のデータを作成した²⁾。

(2) 評価指数と方法

李ら(1998,1999)^{1),2)}は1kmメッシュスケールにおけるトンボ類の生息種数は池や樹林、畑・牧草地の面積と有意な対応関係があることを確認した。また、李ら(1999)²⁾は連続性の定量化に先行して1kmをトンボ類の平均移動距離と仮定した上で、池と緑地のネットワークの評価を行った。本研究ではいくつかの連続性指数をとりあげて、池と緑地(樹林、畑、牧草地を含む)の空間的連続性と種数との相互関係を分析する。

本研究で連続性の定量化のために用いた指数は線形孤立度指数，円形孤立度指数，相互作用指数の三つのカテゴリに区分される．線形孤立度指数としては池までの最短距離(MinDP;Minimum Distance to Pond)と緑地までの最短距離(MinDG;Minimum Distance to Greenspace)を用いる．円形孤立度指数としては，当核メッシュを囲む周辺の8メッシュにおける池の面積(Neipondarea)と緑地の面積(Neigreenarea)を用いる．

一方，相互作用指数(Interaction index)はビオトープ間に生じる生物移動や分散などの生態的相互作用の程度を示すものとして，ビオトープの面積と距離からもとめられる²⁾．本研究では，トンボ類の生息種数とともに対応性が高いと評価された^{1),2)}池ごとにネットワーク池との総相互作用(1kmIP)と緑地との総相互作用(1kmIG)を算出する．IPとIGはそれぞれ次のように示される．

$$IP_i = \sum (A_{pj} / d_{ij}^2)$$
$$IG_i = \sum (A_{gk} / d_{ik}^2)$$

IP_i: 池 i のネットワーク池との総相互作用

IG_i: 池 i のネットワーク緑地との総相互作用

A_{pj}: ネットワーク池 j の面積

A_{gk}: ネットワーク緑地 k の面積

d_{ij}: 池 i と池 j 間の距離

d_{ik}: 池 i と緑地 k 間の距離

また，最短距離にある池との相互作用(MinIP)と最短距離にある緑地との相互作用(MinIG)も算出する．

以上に述べた指数を各メッシュごとに算出して，トンボ類の生息種数との相関関係を分析し，説明力を比べる．

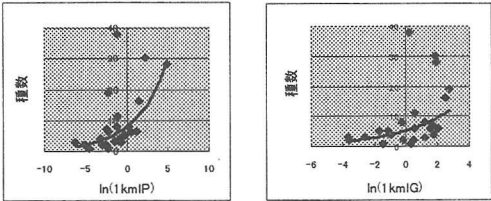
(3)評価結果

相関分析の結果を表一2に示す．トンボの生息種数は池の連続性指数の中で Neipondarea や 1kmIP と，緑地の連続性指数の中で 1kmIG と5%水準で有意なプラスの相関関係があり，MinDP や MinDG とはマイナスの相関関係があるなど予想したとおりの結果を得た．

表一2 本研究における連続性指数とトンボ種数との相関関係

	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)
1)Species Number	1										
2)Pondarea(ha)	0.812**	1									
3)Greenarea(ha)	0.179	-0.249	1								
4)Neipondarea(ha)	0.408*	0.434*	-0.129	1							
5)1kmIP	0.438*	0.362	-0.079	0.367	1						
6)MinIP	0.332	0.209	0.226	0.278	0.858**	1					
7)MinDP(km)	-0.347	-0.318	-0.162	-0.257	-0.242	-0.340	1				
8)Neigreenarea(ha)	0.251	-0.111	0.472*	-0.089	0.067	-0.061	-0.099	1			
9)1kmIG	0.426*	-0.016	0.760**	0.044	0.201	0.268	-0.385	0.777	1		
10)MinIG	-0.060	-0.130	0.144	0.102	0.070	0.043	0.144	0.275	0.171	1	
11)MinDG(km)	-0.367	-0.111	-0.486	-0.224	-0.162	-0.219	-0.029	-0.367	-0.538	-0.171	1

*:5% **:1%



図一2 池や緑地の連続性とトンボ種数

図一2は連続性指数の中で相関係数をもっとも高い 1kmIP や 1kmIG とトンボ種数との関係を示している．グラフをみるとトンボ種数は池及び緑地の連続性指数の対数値が増えるほど指数関数的に増加している．

以上から池や緑地の連続性がトンボ類の生息種数に有意な影響を及ぼす要因であることを明らかにした．また，1 km を基準と判定したネットワークビオトープとの相互作用を示す 1kmIP や 1kmIG が連続性の評価指数としてもっとも説明力が高いことを確認した．

3. トンボ類の生息可能性の予測

3. 1 生息種数の予測

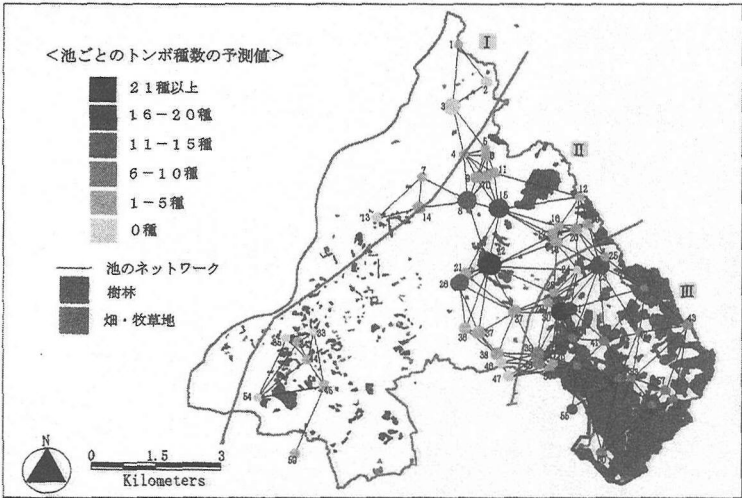
(1)方法

ビオトープの生物生息空間としての適合性を評価する一つの手法がその環境条件から生息可能な種数を予測することである．そのために種数を目的変数に，ビオトープの面積，空間的連続性，土地利用のタイプなどの環境条件を説明変数とする重回帰分析が用いられる．一ノ瀬友博ら(1993)¹³⁾と P.E.Bellamy et al(1996)⁹⁾は鳥類の種数を，N.M.Hilland P.A.Keddy(1992)¹⁴⁾は海岸平地植物の種数を予測する重回帰モデルを構築した．本研究では生息空間の面積と連続性を説明変数として，トンボ種数を予測する重回帰式を求める．枚方市における 1 km メッシュごとのトンボ種数を目的変数に，池の面積，緑地の面積，また，表一2に示したような池と緑地の連続性指数を説明変数にする．連続性指数の場合，メッシュスケールの変数として転換するために，1kmIP は各メッシュに属する池の 1kmIP の総合値を，MinIP と MinDP はその平均値を求める．分析に用いられるデータ数の制約のために連続性指数を説明変数として入れ替えた結果，式の決定係数をもっとも

高くなる 1kmIP と 1kmIG を最終的な説明変数として選択した．また，表－2 にも示したように緑地面積と 1kmIG は変数間の相関性が高いので，種数との相関性がより高い 1kmIG だけを説明変数に取り入れた．その結果，次のような種数予測式を得た．

種数=2.96*(池面積)+0.02*1kmIP+1.08*1kmIG-1.17 (R²=0.855**, n=25)

上の式を適用し，枚方市域に分布する各々の池における生息可能なトンボ種数を予測する．
(2)結果



図－3 池ごとのトンボ類の生息種数の予測値

枚方市には約 5 7 個程度の池が分布しているが，市の境界線の外に分布する池でも市内の池とネットワークされている池は分析に入れた．図－3 に評価結果を示す．本研究では池を同じ面積比率を持つノードとして，池間のネットワークの状態をラインとして示す²⁾．枚方市は地形・地質的条件により淀川低地地帯(I)，丘陵地(II)，山地(III)の三つのゾーンに区分される．ゾーン I と II には市街地が発達し，緑地がパッチ状に散在している．ゾーン III は山地として大規模の緑地が分布している．また，表－3 に池のリストと周辺の主な土地利用の形態を整理する．

池ごとにトンボ種数の生息可能予測値を評価した結果をみ

表－3 枚方市に分布する池と周辺の土地利用

池No	池名	主な土地利用	池No	池名	主な土地利用
1	徳間池	市街地	31	井出口池	畑・水田
2	鶴伝池	市民の森	32	枚方カントリー倶楽部池	樹林
3	橋本公民館池	橋本中央公園	33	坊主池	坊主池公園
4	五井池	水田	34	石池	枚方公園
5	森池	市街地	35	枚方公園池	枚方公園
6	中の池	中の池公園	36	新池	市街地
7	花池	市街地	37	古池	新春日公園
8	今池	今池公園	38	林池	林池公園，水田
9	柳堂池	水田	39	地蔵池	集落地
10	招提丸池	市街地	40	京花池	樹林
11	芳池	農耕地	41	下谷池	樹林
12	文七池	市街地	42	*池	集落地・樹林
13	柏井池	市街地	43	大雲池	水田
14	小倉池	市街地	44	奥の池	市街地
15	新大池	水田	45	以楽園池	市街地
16	四方池	市街地	46	黒沢池	市街地
17	古池	市街地	47	外池	水田
18	トンボ池	市街地	48	大池	水田・畑
19	荒坂池	畑・水田	49	大原池	水田・樹林
20	櫛池	水田	50	新池	水田・畑
21	地蔵池	畑・水田	51	国見池	樹林
22	山田池	山田池公園，樹林	52	田中池	樹林
23	大池	畑・水田	53	武生田池	水田
24	宮池	樹林	54	蓮蛇神社池	蓮蛇神社
25	*池	集落地	55	白旗池	樹林
26	中宮大池	水田	56	新池	樹林
27	最早池	水田	57	*池	水田
28	王仁公園池	王仁公園，樹林	58	*池	水田
29	下新池	水田，樹林	59	四方黒池	市街地
30	惣喜池	畑・水田	60	奥志賀池	ゴルフ場

*は名の未確認

本研究ではトンボ種の生息確率を評価するために各種ごとに池面積，1kmIP，1kmIG を説明変数としたステップワイズロジスティック分析をおこなう．

(2)結果

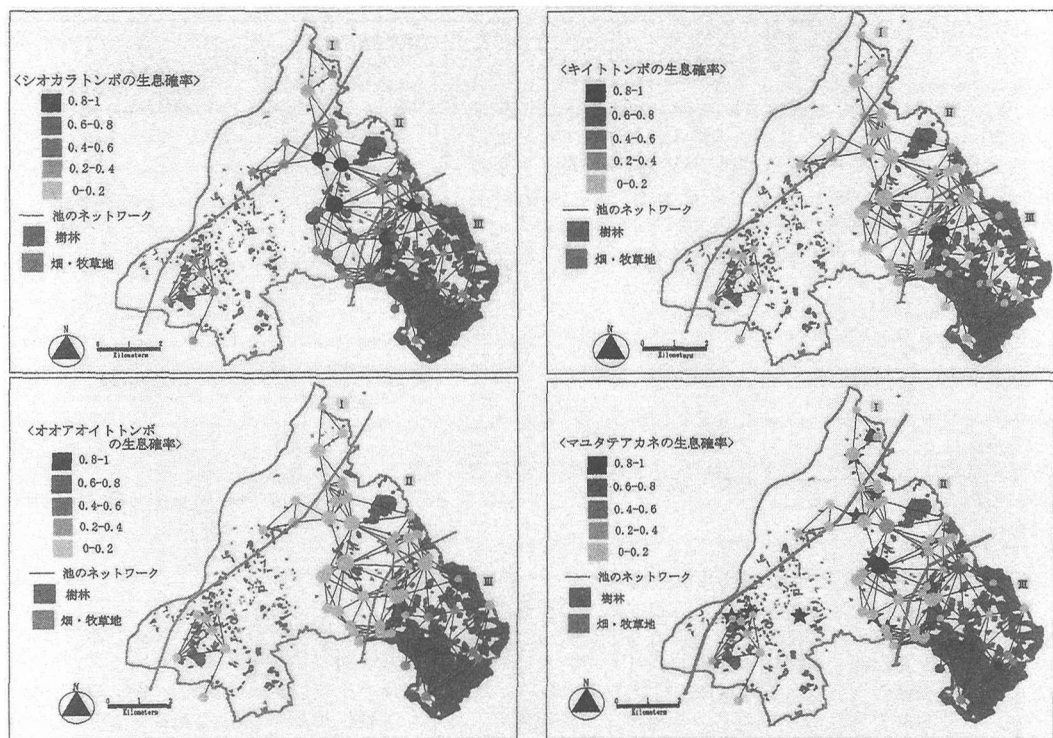
分析の結果，ロジスティック式に含まれた説明変数がトンボ種ごとに異なった．これは種ごとに敏感に対応するビオトープの要因が違ふことを意味することであり，その要因によって次の 4 グループに区分することができた．①池の面積への対応種；アジアイトトンボ，クロイトトンボ，セスジイトトンボ，モノサント

と，大規模であり緑地に囲まれている 22 番の山田池と 30 番の惣喜池で種数の予測値がもっとも高く評価された．大規模であるが周辺に緑地が少ない 8 番，15 番，28 番の池では相対的に低く評価された．一方，1，2，3 番などのように小規模であり，周辺の緑地も少ない市街地に位置する池の場合は，種数がもっとも低く予測された．

3. 2 トンボ種の生息確率の予測

(1)方法

ビオトープの空間的要因とトンボ種数との関連性分析が豊富なトンボ相を保全する上で必要である一方，種ごとの対応性に関する分析は種の保全や生息空間づくりなどに必要な情報を提供する．種ごとのビオトープの対応要因を分析するためには，ビオトープにおいて種の生息可能性の確率を予測するロジスティック分析が用いられる．P.E.Bellamy et al(1996)¹⁸⁾，H.R.Akcakaya et al(1995)¹¹⁾と C.C.Vos et al(1995)¹⁰⁾がそれぞれ異なる種類の鳥の生息確率を予測するロジスティックモデルを構築した例がある．



図—4 トンボ種ごとの生息確率の評価結果

ンボ、ハグロトンボ、カトリヤンマ、ギンヤンマ、ハラビロトンボ、シオカラトンボ、ノツメトンボ、コシアキトンボなど、②池の連続性への対応種：キイトンボ、ホソミオツネトンボ、コオニヤンマ、③緑地の連続性への対応種：アオイトンボ、オオアオイトンボ、アキアカネ、④池の面積、池の連続性、緑地の連続性への対応種：マユタテアカネである。敏感に対応するビオトープの要因が種によって異なることを確認した。そこで、各グループごとに一つの種ずつ、すなわち、シオカラトンボ、キイトンボ、オオアオイトンボ、マユタテアカネに対して池ごとの生息確率を算出し、図—4に結果を示す。

シオカラトンボは水面だけあれば市街地でも普通に生息できる種として、池を創出した場合、初期段階に定着する種の一つである。枚方市でもっとも多い13個所のメッシュで生息が確認された。約1km程度の移動距離を持ち、未成熟期を水域を離れた空き地、住宅地などで過ごす。このような生息特徴からシオカラトンボは水域と緑地の連続性よりも水域の面積が重要であることが考えられ、これは分析結果とも一致している。図—4をみるとシオカラトンボは他の種と比べて市街地の池でも生息確率が高いことがわかる。

キイトンボの場合は植物の繁茂する池沼、湿地などで生息し、ライフサイクルの間に水域をあまり離れない。このように移動力が小さい種は池の連続的分布がより重要な要因になると予想したとおり池の連続性が重要な変数として評価された。図—4をみるとキイトンボは市の東部の池の連続性が高いところで生息ポテンシャルが高く評価された。

オオアオイトンボは水域をやや離れたうす暗い林地で未成熟期を過ごす種として、緑地の連続性が重要な変数として評価された。枚方市でオオアオイトンボは緑地が多くて山に囲まれている東南部の池で生息確率が高く評価された。

マユタテアカネは植物の繁茂する水域で生息し、未成熟期を水域からやや離れた林地で過ごす特性を持ち、池面積や池の連続性、緑地の連続性のすべてが重要な変数として評価された。マユタテアカネは大面積の池が存在し、池や緑地の連続性が高い山田池や東南部の山地の池で生息する可能性が高いと評価された。

4. エコロジカルネットワーク

4.1 エコロジカルネットワークの構成要素と評価基準

分断された生息地を有機的に繋げるためのエコロジカルネットワーク計画が全世界的に進んでいる。ヨーロッパではヨーロッパ大陸、国土、地方、地域、地区のそれぞれの空間階層的レベルで重要な生息地のネッ

トワークを形成する計画が行われている。アメリカやカナダなどでも同じように、生息地のネットワーク計画が成されている。

表一5にヨーロッパにおけるエコロジカルネットワークの構成要素(elements)やそれらの評価基準(Criteria)をまとめる。エコロジカルネットワークは三つの空間的構成要素、すなわち、コアエリア(core area)、エコロジカルコリドー(ecological corridor)、自然環境改善エリア(nature development area)から成り立つ。コアエリアは典型的かつ代表的な生息環境を持つ自然性が高いエリアとして、生物多様性が高く、地域固有種や希少種、絶滅危種が生息しているビオトープである。また、コアエリアは生物生息に必要な最小面積以上のサイズをもつビオトープである。ヨーロッパでは国際的、国内的に有意義なコアエリアの最小サイズを 500ha として指定している。また、エコロジカルコリドーはコアエリアや自然環境改善エリアとの連続性が高く、種の移動や分散ルート及び一時的な生息場所として機能するビオトープである。連結されているコアエリアのサイズや生息地までの距離、障害物の有無などから選定される。自然環境改善エリアはある程度自然性を持ち、コアエリアやコリドーの生息環境を保護し、人為的影響を防止する緩衝(Buffer)機能を果たすとともに、エコロジカルネットワークをさらに改善・拡大するための自然再生地でもある。

○コアエリア

- ・生物生息空間としての代表性・典型性
- ・生物多様性が高い
- ・地域固有種、希少種、絶滅危種の生息地
- ・最小必要面積以上のサイズ
- ・自然的、生態のプロセス

○エコロジカルコリドー

- ・他の生息地との連結性
- ・種の移動や分散ルート
- ・障害物の有無
- ・生物の一時的生息地

○自然環境改善エリア

- ・コアエリアの自然破壊部分、攪乱部分、孤立部分
- ・ネットワークの持続に必要な自然再生地
- ・コアエリアへの人為的影響の防止機能

表—5 エコロジカルネットワークの構成要素と評価基準

4. 2 トンボ類を指標としたエコロジカルネットワーク

トンボ類を指標生物として都市域に分布する水辺や緑地のネットワークを形成するために、まず、各々ビオトープをネットワークの空間構成要素として分級(classification)する。本研究では分級のための評価基準として種多様性や固有性、典型性を採用し、それぞれ具体的な評価指数を取り入れた。種多様性はビオトープごとの種数予測値から評価し、地域固有性は枚方市レベルでの貴重種の生息現況から評価する¹。典型性はトンボ類の典型的な生息環境の要因である池の面積や連続性、緑地の連続性に敏感に対応するマユタテアカネの生息確率から評価する。分級方法としては L.A.Baschak et al(1995)¹⁵⁾が用いたランドスケープエレメントやネットワークの評点評価(rating assessment)方法を応用し、それぞれの評価基準に対して3段階評点評価を行う。その結果によってビオトープを生態的大、中、小拠点に分級し、それぞれコアエリア、自然環境改善エリア、移動通路(飛び石)として位置づける。その体系を表一6に示す。

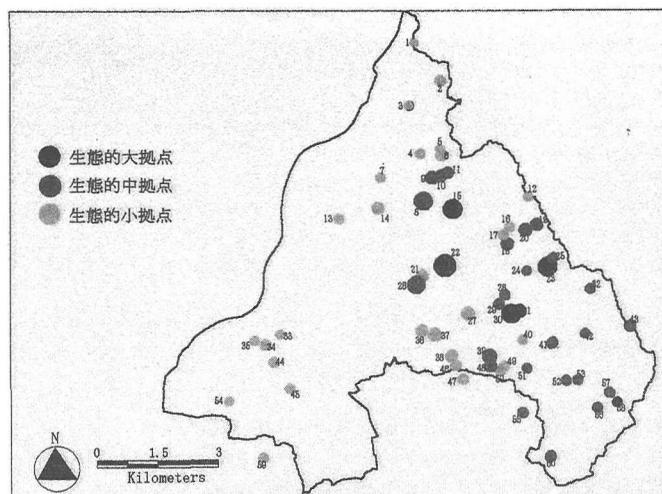
表—6 ビオトープの分級体系(classification system)

評価基準	評価指数	ランク		
		1	2	3
種多様性	種数予測値	0-5種	6-15種	16種以上
地域固有性	貴重種の生息	ランクC種の生息	ランクB種の生息	ランクA種の生息
典型性	マユタテアカネの生息確率	0.0-4	0.40-8	0.8-1
合 計		139	469	799
エコロジカルネットワークの構成要素		生態的小拠点	生態的中拠点	生態的大拠点
構成要素の定義		自然性は低い、基本的な生息条件を備えて一時的な生息地及び通路地、飛び石として機能する。	コアエリアの条件は満たさないが、ある程度自然性や種多様性が高く、たまたま貴重種、希少種が生息する。コアエリアの保護地、拡大地、改善地、自然環境改善エリア	市域レベルで自然性や種多様性が高く貴重種、希少種の種供給地になるコアエリアである。また、トンボ類にとって代表的、典型的な生息条件を提供する。

図一5にビオトープの分級結果を示す。結果をみると15、22、23、30、31、58番の池が枚方市におけるトンボ類の生態的大拠点、すなわちコアエリアとして評価された。これらの池はもっとも種多様性が高く貴重種の種供給地であり、トンボ類にとって典型的で代表的な生息条件を満たすビオトープである。また、生態的中拠点は主に生態的大拠点の付近や山地に分布する。これらはコアエリアの環境条件は満たさないが、ある程度自然性が高く改善することによってコアエリアに発達する可能性がある自然環境改善エリアである。

一方、中央や西部の市街地の池はほとんど生態的小拠点として評価された。生態的小拠点は自然性は低い、トンボ類の生息に必要な基本的条件を備えて、一時的生息地、あるいは拠点間の通路地として利用され

¹ 枚方市レベルでの貴重度によってA,B,Cにランクしている(枚方市, 1990)。



図—5 ビオトープの分級結果

る飛び石形のコリドーになると考えられる。

以上のような現況から枚方市域で池と緑地のネットワークをより発展、拡大するためには、まず、生態的大拠点として評価された池の環境質を保全するとともに、生態的中拠点である池の面積と連続性を含めた生態的質を改善・再生することが必要である。また、西部の市街地に生態的大拠点になるような池や緑地環境を創出するとともに東と西部の生態的拠点の間にトンボの移動通路になる飛び石を創出することが考えられる。

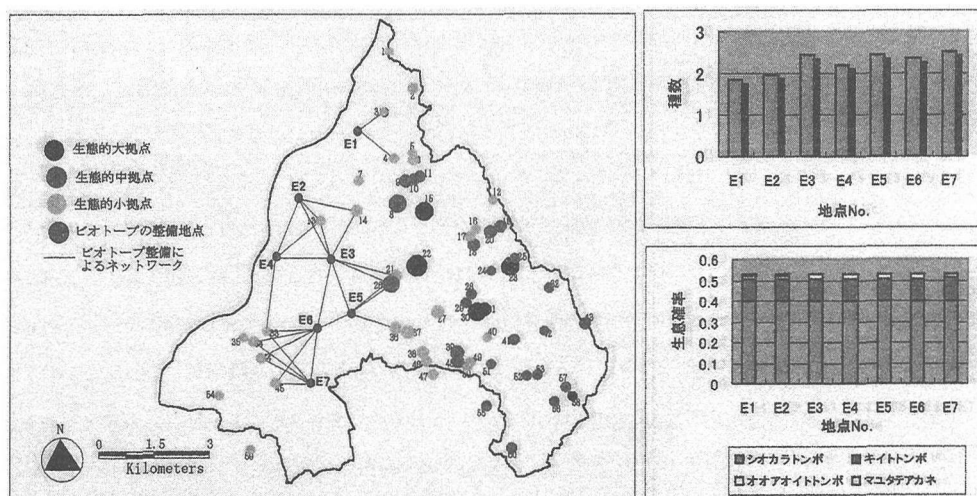
5. ビオトープ整備の評価予測

大面積の生物生息空間を確保することが困難な都市域において生態的連続性を向上する上で注目すべき空間概念が「多目的土地利用(multiple landuse)」¹⁾、すなわち、人間活動機能と生態的機能が両

立・統合した土地利用である。道路や鉄道のような線状の構造物に沿った空間や学校、工場や下水処理場などのような公共施設のオープンスペースは都市域に散在するビオトープを繋げる上で重要な役割を果たす。近年、都市環境の生態的質を高めることを目指してビオトープを改善・創出・再生する事業が盛んに行われているが、その効果を予測や評価した事例はほとんどない。

枚方市には神社、公園、学校、工場などの公共施設が全市域にまたがって多く存在する。その中で、ランダムに選ばれた七つの地点で1haの池を創出すると仮定した場合のトンボ類の生息可能性に及ぼす影響を試算した。E1,E2,E7は下水処理場、E3,E5は工場、E4は小学校、E6は都市公園であり、各地点におけるビオトープの創出は市域でのエコロジカルネットワークの現況をより改善すると考えられる。

図—6に示した結果をみると創出された池では少なくとも一つか二つの種類のトンボが生息すると予測される。種ごとの生息確率の場合、シオカラトンボが生息する可能性がもっとも高く、次にキイトンボが10%程度として予測された。しかし、緑地の連続的分布が生息環境として必要なオオアイトンボやマユタテアカネが生息する可能性はいずれの池においても低く評価された。これらの種が生息するためには水域を創出することに加えて周辺に緑地環境を整備することが必要であると思われる。



図—6 ビオトープの整備地点におけるトンボ類の生息可能性の予測

6. まとめ及び研究課題

本研究では都市域レベルにおけるビオトープの空間的特性とトンボ類の生息ポテンシャルを評価し、水域や緑地のエコロジカルネットワークを形成する手法を試みた。本研究から得られた知見と研究課題をまとめる次のようである。

1) ビオトープの連続性を定量化するいくつかの指数を用いてトンボ類の生息種数との関係を分析した結果、1kmIPや1kmIG、すなわち1kmを平均移動距離と仮定した場合のネットワークビオトープとの相互作用指数がもっとも説明力が高かった。連続性の評価に関する既存研究では主に距離か面積の一方を用いたが、本研究では距離と面積を同時に反映した相互作用指数を用い、その有用性を明らかにした。今後、ビオトープ間の移動障害物などの環境質を考慮した連続性の評価が課題として考えられる。

2) 大阪府枚方市におけるトンボ類の記録データを用いて池面積、池の連続性、緑地の連続性を説明変数とした生息種数や生息確率の予測式を構築し、各々のビオトープにおけるトンボ類の生息可能性を評価した。しかし、データの精度や数の限界、生態系の不確実性などのために今回推定されたパラメータには多くの誤差が内包されていると思い、より精密なモデルの構築が今後の課題になる。

3) 種多様性、貴重種の生息、生息空間としての典型性を評価基準としてビオトープをエコロジカルネットワークの構成要素として分級し、ネットワークの現況や方向性について考察した。ビオトープの分級において今回は3段階評点評価方式を用いたが、今後より体系的で緻密な基準設定や分級システムの構築が必要である。

4) 市域においてエコロジカルネットワークを発展させる一つの方案として、七つの公共施設で池を創出した場合の効果を試算した。今後、より体系的なランドスケープ計画論への展開と多様な代替案の評価が期待される。

<参考文献>

- 1) 李承恩, 盛岡通, 藤田壮 (1998), 都市域におけるトンボを指標種としたビオトープネットワーク形成に関する予備的考察, 環境システム研究, Vol.26, pp.617-622.
- 2) 李承恩, 盛岡通, 藤田壮 (1999), トンボ類を指標生物とした都市域におけるビオトープの空間的特性の評価, 土木学会論文集投稿中
- 3) Langevelde, F.V.: Conceptual Integration of Landscape Planning and Landscape Ecology, with a focus on the Netherlands, *Landscape Planning and Ecological Networks*, pp.27-69, 1994.
- 4) Clergeau, P. And Burel, F.: The role of Spatio-Temporal Patch Connectivity at the Landscape level: an example in a bird distribution, *Landscape and Urban Planning*, vol.38, pp.37-43, 1997.
- 5) 加藤和弘: 生態学の視点で見た都市・農村計画—特に「生態的回廊」について—, 環境研究, No.98, pp.125-132, 1995.
- 6) Lamberson, R.H. et al.: Reserve design for territorial species; the effects of patch size and spacing on the viability of the Northern Spotted Owl, *Conservation Biology*, vol.8, no.1, pp.185-195, 1994.
- 7) Opdam, P.: Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies, *Landscape Ecology*, vol.5, no.2, pp.93-106, 1991.
- 8) Shreeve, T.G.: Monitoring butterfly movements, In: Dennis, R.L.H., *The Ecology Of Butterflies In Britain*, Oxford Science Publication, pp.120-138, 1992.
- 9) P.E. Bellamy, S.A. Hinsley and I. Newton (1996), Factors influencing bird species numbers in small woods in south-east England, *Journal of Applied Ecology*, Vol.33, pp.249-262
- 10) C.C. Vos and A.H.P. Stumpel (1995), Comparison of habitat-isolation parameters in relation to fragmented distribution patterns in the tree frog (*Hyla arborea*), *Landscape Ecology*, Vol.11, No.4, pp.203-214
- 11) H.R. Akcakaya, M.A. McCarthy and J.L. Peace (1997), Linking Landscape Data with Population Viability Analysis: Management Options for the Helmeted Honeyeater, *Biological Conservation*, Vol.73, pp.169-176
- 12) R.H.G. Jongman (1995), Nature conservation planning in Europe: developing ecological networks, *Landscape and Urban planning*, vol.32, pp.169-183
- 13) 一ノ瀬友博, 加藤和弘 (1993) 都市及び農村地域における鳥類の分布と土地利用の関係について 造園雑誌 56(5): 349-354
- 14) N.M. Hill and P.A. Keddy (1992) Prediction of Rarities from Habitat Variables: Coastal Plain Plants on Nova Scotian Lakeshores 73(5): 1852-1859
- 15) L.A. Baschak, R.D. Brown (1995), An ecological framework for the planning, design and management of urban river greenways, *Landscape and Urban Planning*, Vol.33, pp.211-225
- 16) 長田光世・森 清和・田畑貞寿 (1993) トンボの種類からみた水辺緑地計画の指標に関する予備的考察 造園雑誌 56(5): 151-156
- 17) 守山 弘 (1991) 東京近郊の原風景と生物相保全機能 環境情報科学 20-2 「守山 弘 (1991) 東京近郊の原風景と生物相保全機能 環境情報科学 20-2」
- 18) S.A. Hinsley, P.E. Bellamy, I. Newton and T.H. Sparks (1995), Habitat and landscape factors influencing the presence of individual breeding bird species in woodland fragments
- 19) 枚方市 (1990), 枚方市自然環境調査報告書
- 20) http://www.ecnc.nl/doc/lynx/publication/eeco_sk.html; National Ecological Network NECONET-Slovakia