

確率モデルを用いた管住性ハチ類の 繁殖可能性の可視化

池 口 仁¹⁾・橋 本 佳 明²⁾・遠 藤 知 二³⁾

Reproductive Potential Visualization of Some Wasp Species Using Probability Models. Hitoshi Ikeguchi¹⁾, Yoshiaki Hashimoto²⁾ and Tomoji Endo³⁾

The available information on wild species in suburban areas is insufficient for effective discussion of biotope plans or ecological conservation plans. To solve this problem, some method which can estimate ecological potential may be useful.

We built the probability models that describe the relation between the reproduction of some tube-nesting wasps and the local landuse distribution in newly developed residential district. Using this model, we visualized the reproductive potential of one of these species in local area. This paper discusses both the utility of this method and the methodology itself.

Key words: biotope, conservation, probability model, logit, visualization, tube-nesting wasp

はじめに

近年のわが国、特に大都市縁辺部では、自然系、半自然系の環境が人為的環境へと変容し、多くの生物がその生存の基盤を失い、あるいは、生息基盤がのこっても、孤立化のため、個体群の維持に必要な遺伝的多様性を確保できず、地域的絶滅の危機に瀕している。このような状況下で、人間の需要と、野生生物種の生存とを両立させる手段としては、人為的土地利用の優占する空間の内部に、適切な規模の生物生息空間(ビオトープ)を確保することが有効であると考えられる。

しかし、単一ビオトープ内部で、各種生物の遺伝的多様性が十分保証されない場合や、個体群の分断により、種の進化史に特殊な影響が現れる恐れがある場合には、何らかの手法によって、各ビオトープ間で生物種の遺伝的交流がおり得るようにビオトープの配置や、分断要因の緩和を計画する必要がある。

新規に行われた集団の開発地域(ニュータウン)内部では、二次林などの半自然的環境は開発以前に比べ極端に小規模なフラグメントとして存在し、小規模なビオトープとして機能しており、面積的に小規模の孤立化したフラグメントでは種の脱落がみられる(服部ほか, 1994)。

このような種の脱落をもたらす分断の緩和ないし解消の計画は、移動能力を持たない植物種の場合、その散布様式などを考慮することにより立案されるか、あるいは、井手ほか(1992)が検討したように散布を担う動物種の状況から導かれるものであろう。

一方の動物種では、McKelvy *et al.*(1993)がニシアメリカフクロウを対象種として、繁殖に適当なパッチ、繁殖に不適当なパッチ、その中間的なパッチの混在する環境を想定して、どのような空間配置が個体群の絶滅を起しやすいかシミュレートしている。しかし、このモデルは伐採を予定されてる比較的単調な原始的な樹林に生息する希少な種を対象とすることにより、対象種の詳細なデータが蓄積されており、また、伐採された樹林は繁殖に不適当、残された原生林は繁殖に不適当という仮定が信頼できるという条件のもとで成立している。これに対し、都市縁辺部に生息する普通種については、こうした基礎的なデータの蓄積が少ない。とくに、様々な土地利用が混在する地域においては、個々の土地利用単位が普通種と呼ばれるそれぞれの種の繁殖可能性に対し、どのような影響を及ぼしているかについて、十分な信頼性をもつ推定を可能にするような行動様式と移動能力に関する資料が集まっていないのが現状である。

¹⁾兵庫県立人と自然の博物館 環境計画研究部 Division of Environmental Design, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, 669-13 Japan

²⁾兵庫県立人と自然の博物館 系統分類研究部 Division of Phylogenetics, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, 669-13 Japan

³⁾兵庫県立人と自然の博物館 生態研究部 Division of Phylogenetics, Museum of Nature and Human Activities, Hyogo, Yayoigaoka 6, Sanda, 669-13 Japan

したがって、現時点でこのような種の地域的絶滅を防止し、生物的多様性を維持する計画を立案するためには、環境と生物生息の関連を完全に解明するのではなく、既知のデータや資料を活用し、種の生態の解明や厳密な記載を後回しにして、ある程度の正確さで推測できる手法が求められる(武内・李, 1988)。

本研究では、竹筒トラップ調査(橋本・遠藤, 1994)のデータをもとに、人為的土地利用と半自然的環境の空間的配置と、動物種の繁殖可能性との関連をモデル化し、モデルの援用によって開発地域内での動物種の潜在的な繁殖可能性を可視化することを試み、その手法そのものとともに、生物保全計画の基礎資料としての利用可能性を検討した。

竹筒トラップによる管住性ハチ類の調査は、非常に大きな誘因性を持つトラップを設置(管住性ハチ類にとって魅力的な繁殖場所を提供)し、そこでの管住性ハチ類の繁殖の状況を記載したものである。これにより各トラップ設置場所で、繁殖に関わる資源のうち、繁殖場所を除く資源(種の供給源を含む)が充足されているか否かを

知ることができる。このデータからは、管住性ハチ類の一部の種の繁殖状況が、開発地域内の土地利用によって影響されていることが示されている。

対象地域および対象種の概要

対象地域

本研究で調査対象としたのは神戸三田国際公園都市北摂南地区(フラワータウン, 図1-a)である。神戸三田国際公園都市は神戸市の中心部の北15km~25kmの丘陵地に8地区に分散して開発された新都市群であり、フラワータウンはその中心付近、神戸市中心部の北約20kmに位置する。開発面積は神戸三田国際公園都市全体で2,016ha, うちフラワータウンは339haで、フラワータウンの計画上の土地利用構成は、緑地が最も多く24.7%, 独立住宅24.1%, 道路23.0%, 公益施設15.6%, 集合住宅11.5%である。開発以前の植生はアカマツまたはコナラが高木層に優占する二次林が大部分を覆っていたと考えられ、一部は公園林や保全緑地として現在も残されている

凡例



図1-a. フラワータウン。

a. 樹林, b. 水面, c. 草地, d. 独立住宅地, e. 集合住宅地, 商業用地, 大型施設及び広い被覆地など, f. 緑道及び公園広場。服部の未発表資料より作成。

る(服部ほか, 1994). 現時点では開発が終了していないためまとまった面積の未利用地が草地として残されている。

対象種

本研究では繁殖可能性を検討する対象としてを管住性ハチ類を選んだ。その理由は、1. 草地性の種や樹林性の種などの様々な種が、同一の方法で観察可能であること、2. 食物連鎖の中で比較的上位にあり、その分布の背景にある程度の生物的な多様性が期待できる種を含むこと、3. 管住性ハチ類繁殖のための竹筒等の設置がビオトープ整備事例中に見られることである。

また、対象地域周辺で普通に存在し、計画対象となる土地利用の質と空間的な構造とによって影響を受ける可能性が高い種については、緑地計画・土地利用計画にビオトープ計画の視点を組み込んで対処する必要がある、そこでは繁殖可能性の可視化が有効であると考えた。本研究の対象地域のスケールは規模で $\sim 10^6 \text{m}^2$ 、精度で $\sim 10^4 \text{m}^2$ であることから、このスケールに対応する種($\sim 10^2 \text{m}^2$ から $\sim 10^4 \text{m}^2$ 程度の繁殖圏をもつと想像される種)を対象とするべきであると考えた。これは、昆虫などの多くの小動物の繁殖圏に相当し、数多くの種が含まれる。

本研究では橋本・遠藤(1994)の方法による1994年の管住性ハチ類のデータ(橋本・遠藤, 1996)を用いた。その中で、対象地周辺で普通に見られ、対象地域内では地点により見られない事が多いことから、開発の影響を受けていると考えられるオオフタオビドロバチ(*Anterhynchium flavomarginatum*)、コクロアナバチ(*Isodontia nigella*)、ヒメベッコウ(*Auplopus carbonarius*)の3種を取り上げた。

これらの3種は幼虫のエサとしてそれぞれチョウ目の幼虫、バッタ目、クモ類を狩る(橋本・遠藤, 1996)。

方 法

データ処理

環境の情報として、計算機上にフラワータウンの土地利用状況のビットマップデータベースを用意した。元データとして使用したのは服部らが博物館資料として現地踏査により作成したフラワータウンの植物分布地図であり、植物社会学的植生図に加えて、樹林の分布、草地の分布、庭木・独立木などの分布、庭木・独立木などの分布、現在の土地利用状況などの情報を付加した1/2500の地図である。土地利用状況は、a. 樹林、b. 水面、c. 草地、d. 独立住宅地、e. 集合住宅地、商業用地、大型施設及び広い被覆地、f. 緑道及び公園広場、g. その他(道路等)の7カテゴリに分類した。ビットマップの精度は1ピクセル $\approx 4.34 \text{m}^2$ である。

ハチ類のデータは橋本・遠藤(1996)よりフラワータウン内のデータを抽出し、各種の繁殖が見られたか否かのカテゴリデータを作成した。

モデル構築

ハチ類各種の繁殖の有無を目的変数、土地利用データを説明変数とするロジットモデル(池口・武内, 1993)を構築した。ロジットモデルのパラメータ推定にはN-R法を微分手法とする最尤法を用いた。説明変数は各土地利用分類に対して、1. 調査地点から50m圏内のピクセル数、2. 同じく100m圏内のピクセル数、3. 同じく200m圏内のピクセル数、4. 500m圏内の各ピクセルに対し調査地点からの距離の逆数を合計したもの、5. 同じく距離の2乗の逆数を合計したもの、6. 同じく距離の3乗の逆数を合計したもの、の6種類を用意した。多種のデータを用意した理由は、各土地利用の効果が距離とどのような関係を持っているかが未知であるため、簡単な距離の減少関数である距離のべき乗の逆数を重みづけにもちい、この重みづけで説明できない部分をカバーするために距離圏別の集計値を用いるためである。重みづけに距離の $-1 \sim -3$ 乗(重みづけをしないデータを含めると $0 \sim -3$ 乗)を用いたのは、どのような減少関数の形が好ましいかが不明なためである。詳しくは議論の項で述べる。

土地利用分類データは排他的データ(見かけ上分類の数だけ変数があるように見えるが、任意の1変数は他の変数がすべて定まれば一意に定まる)であるので、自由度の保証のためにg.の分類のデータを捨て、他の6分類を用いて1.~6.の各種のデータについてそれぞれ6説明変数のモデルを構築し、モデル全体の有意水準(χ^2 乗検定)、説明力($\bar{\rho}^2$, ρ^2)、および各説明変数の有効性の水準(t検定)を見つつ説明変数を減らし、最後に1.~6.の中で最もt検定値の良好な説明変数を用いて複合的なモデルを採択した。

図 化

土地利用ビットマップをモデルに入力することにより、出力としてフラワータウン地区の繁殖確率の分布図を作成した。

結 果

3種のハチについて変数選択の過程をそれぞれ表1-1から表1-3に、最終的に得られたモデルのパラメータと検定結果を表2-1, 表2-2に示す。

ヒメベッコウ

正の影響を示す説明変数として、5-a. 距離の2乗の逆数で重みづけした樹林と、負の影響を示す説明変数とし

表1-1. 変数選択の過程(ヒメベッコウ繁殖可能性モデル).

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=59)						モデルの適合性			パラメータ収束なし
	a.	b.	c.	d.	e.	f.	χ^2	ρ	ρ^2	
1. 50m圏内のピクセル数			(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
2. 100m圏内のピクセル数	1.68	1.69	0.05	-2.60	0.01	0.14	38.05	0.44	0.38	
3. 200m圏内のピクセル数	1.72	2.03	0.05	-2.21	0.00	0.01	20.93	0.24	0.16	
4. 距離の逆数で加重合計	1.80	2.06	-1.14	-1.35	0.13	0.52	18.22	0.21	0.13	
5. 距離の二乗の逆数で加重合計	2.88	1.53	0.68	-1.95	-0.94	0.51	42.40	0.49	0.44	
6. 距離の3乗の逆数で加重合計	2.67	1.16	0.91	-1.91	-0.70	0.98	43.03	0.50	0.45	
	5%有意水準						12.59			

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=61)				モデルの適合性			パラメータ収束なし
	a.	b.	c.	d.	χ^2	ρ	ρ^2	
1.	(-)	(-)	(-)	(-)				
2.	1.85	1.70	0.14	-2.68	38.01	0.44	0.40	
3.	1.90	2.11	0.05	-2.36	20.92	0.24	0.19	
4.	1.82	2.11	-1.18	-1.82	18.17	0.21	0.16	
5.	2.61	1.47	1.05	-2.35	38.91	0.45	0.41	
6.	2.45	0.95	-0.99	-1.84	36.15	0.42	0.38	
	5%有意水準				9.49			

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=62)				モデルの適合性			パラメータ収束なし
	a.	b.	c.	d.	χ^2	ρ	ρ^2	
1.	(-)	(-)		(-)				
2.	1.89	1.72		-2.69	37.99	0.44	0.44	
3.	1.91	2.27		-2.44	20.92	0.24	0.24	
4.	1.81	1.85		-2.37	16.74	0.19	0.19	
5.	2.60	1.48		-2.36	37.64	0.43	0.43	
6.	2.48	0.96		-1.94	35.02	0.40	0.40	
	5%有意水準				7.81			

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=63)				モデルの適合性		
	a.	b.	c.	d.	χ^2	ρ	ρ^2
1.	3.56			-2.40	34.24	0.40	0.38
2.	3.22			-2.67	26.05	0.30	0.28
3.	2.79			-1.98	13.16	0.15	0.13
4.	3.02			-2.01	12.68	0.15	0.12
5.	4.31			-2.26	32.48	0.38	0.36
6.	4.15			-1.88	28.98	0.33	0.31
	5%有意水準				5.99		

*太字の変数を採用

a. 樹林, b. 水面, c. 草地, d. 独立住宅地, e. 集合住宅地, 商業用地, 大型施設及び広い被覆地など, f. 緑道及び公園広場.

て、2-d. 100m圏内の独立住宅地が抽出された。5-aの効果はパラメータから判断して調査地点のごく近傍で作用していると考えられる。

一方で2-dが高い影響力を示したことは独立住宅地が一定の広さで負の影響を及ぼしていることを示している。

コクローアナバチ

正の影響を示す説明変数として4-c. 距離の逆数で重みづけした草地、負の影響を示す説明変数として、6-a. 距離の3乗の逆数で重みづけした樹林と3-d+f. 200m圏内の独立住宅および緑道を採用した。緑道と独立住宅については、ほぼ同じ傾向で作用していると考えられるため、合計して取り扱った。ここでも樹林の効果は調査地点の

ごく近傍にあらわれ、また、緑道および独立住宅の効果はヒメベッコウより広い範囲であらわれ、草地の効果も比較的広い範囲にあらわれていると考えられる。

オオフタオビドロバチ

全体に説明変数の有効性が低く、負の影響を及ぼす土地利用として、e. 集合住宅地などが一定の効果をもっていることがわかったが、説明力のあるモデルを構築できなかった。

モデルの得られた2種のうちヒメベッコウについて、フラワータウンにおける繁殖可能性の分布図を図1-bに示す。ただし、議論の部分で述べた理由により、得られた確率値が0~0.5の部分は消去してある。

表1-2. 変数選択の過程(コクロナバチ繁殖可能性モデル).

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=59)						モデルの適合性		
	a.	b.	c.	d.	e.	f.	χ^2	ρ^2	ρ^{-2}
1.50m圏内のピクセル数	-2.06	0.84	1.75	-1.22	0.87	-2.12	16.42	0.37	0.31
2.100m圏内のピクセル数	-1.90	0.74	1.64	0.72	0.74	-2.14	12.28	0.28	0.20
3.200m圏内のピクセル数	-1.56	0.33	1.06	-1.24	0.17	-1.74	10.65	0.24	0.16
4.距離の逆数で加重合計	-1.71	0.59	-1.94	-1.41		-1.19	13.76	0.31	0.24
5.距離の二乗の逆数で加重合計	-2.73	0.74	0.84	1.25	0.52	-1.30	6.55	0.15	0.06
6.距離の3乗の逆数で加重合計	-3.49	0.13	0.83	-1.38	0.66	-1.46	12.59	0.07	0.03
5%有意水準							12.59		

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=61)				モデルの適合性		
	a.	c.	d.	f.	χ^2	ρ^2	ρ^{-2}
1.	-2.66	1.63	-1.35	-2.30	15.17	0.34	0.30
2.	-2.37	1.59	-0.93	-2.39	12.03	0.27	0.22
3.	-1.60	1.23	-1.40	-2.15	10.47	0.24	0.19
4.	-1.73	2.18	-1.60	-1.26	13.34	0.30	0.25
5.	-3.45	0.05	-1.33	-1.50	6.23	0.14	0.08
6.	-4.04	0.86	-1.38	-1.51	2.60	0.06	0.00
5%有意水準					9.49		

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=61)			モデルの適合性		
	a.	c.	d+f.	χ^2	ρ^2	ρ^{-2}
1.	-3.03	0.15	-2.53	5.85	0.13	0.09
2.	-2.57	0.24	-2.74	4.98	0.11	0.07
3.	-1.77	0.66	-3.21	7.67	0.17	0.13
4.	-1.77	2.16	-2.90	12.97	0.29	0.26
5.	-3.59	-0.14	-2.28	5.00	0.11	0.07
6.	-4.05	-0.88	-2.03	1.83	0.04	0.00
5%有意水準				7.81		

*太字の変数を採用

a. 樹林, b. 水面, c. 草地, d. 独立住宅地, e. 集合住宅地, 商業用地, 大型施設及び広い被覆地など, f. 緑道及び公園広場.

表1-3. 変数選択の過程(オフタオビドロバチ繁殖可能性モデル).

型	変数の有効性 (t 値, D.F.=59)						モデルの適合性		
	a.	b.	c.	d.	e.	f.	χ^2	ρ^2	ρ^{-2}
1.50m圏内のピクセル数	0.46	-1.35	-1.36	-1.72	-1.94	0.66	3.62	0.05	0.00
2.100m圏内のピクセル数	0.00	-1.13	0.25	-1.04	-1.91		3.62	0.01	0.00
3.200m圏内のピクセル数	0.29	-1.09	0.55		-1.97		4.61	0.07	0.00
4.距離の逆数で加重合計	0.20	0.78	0.69		-1.92	0.67	4.83	0.07	0.00
5.距離の二乗の逆数で加重合計	0.17	-1.09	-1.17	-1.34	-1.05		3.62	0.04	0.00
6.距離の3乗の逆数で加重合計	-1.49	-1.08	0.53	-1.81		-1.32	3.49	0.05	0.00
5%有意水準							12.59		

*モデルの作成を断念

a. 樹林, b. 水面, c. 草地, d. 独立住宅地, e. 集合住宅地, 商業用地, 大型施設及び広い被覆地など, f. 緑道及び公園広場.

表2-1. ヒメベッコウ繁殖可能性モデル.

変数	5-a.	2-d.
パラメータ	0.119	-0.000977
t 値	4.29	-2.81
(自由度 63)		
標準誤差	0.0277	0.000347
χ^2	37.26	
(自由度 2)		
ρ^2	0.43	
ρ^{-2}	0.41	

表2-2. コクロナバチ繁殖可能性モデル.

変数	4-c.	6-a.	3-d+f.
パラメータ	0.0057	-0.000518	-0.826
t 値	2.22	-3.00	-3.01
(自由度 62)			
標準誤差	0.00257	0.000173	0.271
χ^2	37.26		
(自由度 2)			
ρ^2	0.43		
ρ^{-2}	0.41		

繁殖可能性を p, 説明変数を xi, パラメータを ϕ_i として,

$$p = \exp(\sum_i \phi_i x_i) / \{1 + \exp(\sum_i \phi_i x_i)\}$$

繁殖可能性を p, 説明変数を xi, パラメータを ϕ_i として,

$$p = \exp(\sum_i \phi_i x_i) / \{1 + \exp(\sum_i \phi_i x_i)\}$$

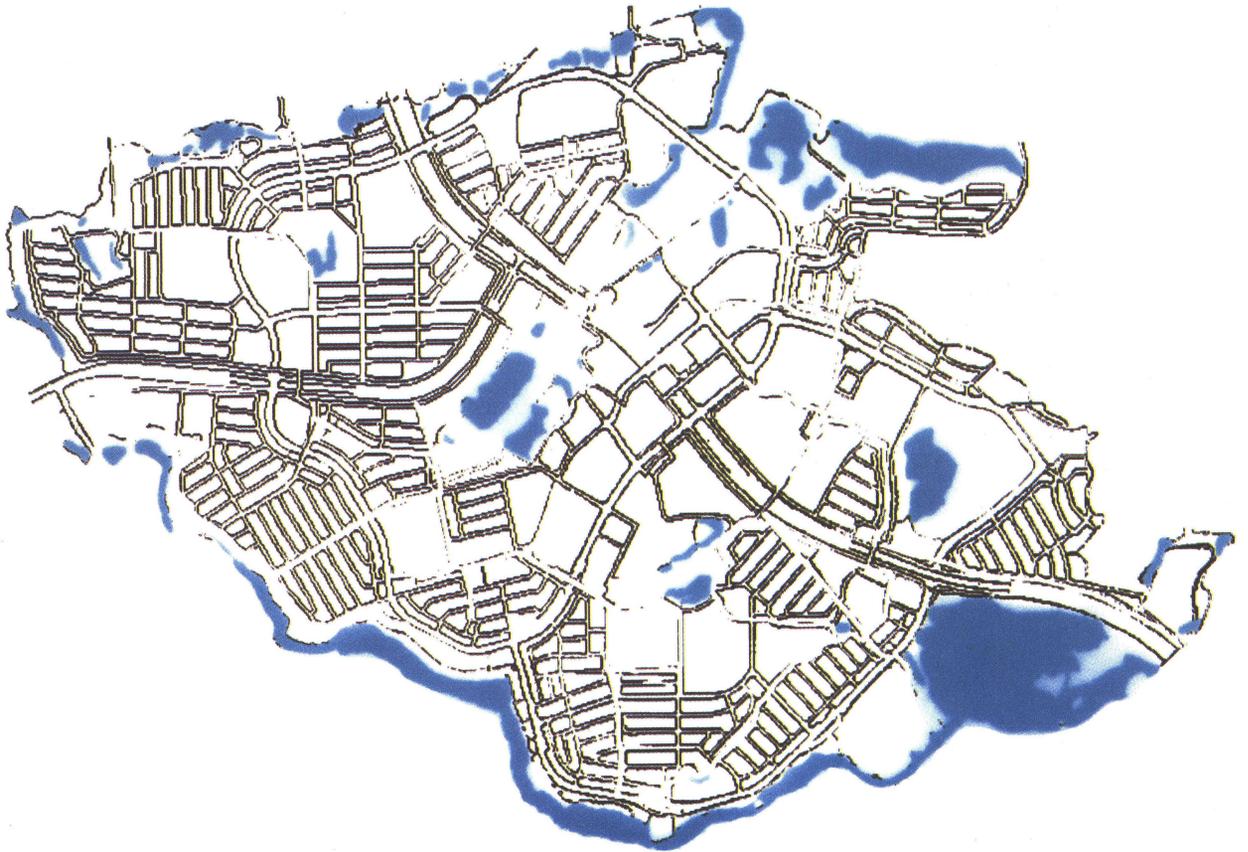


図1-b. フラワータウンにおけるヒメベッコウの繁殖可能性。

モデルを用いて推定されたヒメベッコウの繁殖可能性。青色の濃い部分ほど繁殖可能性が高い。

議 論

モデル適用についての問題点

ロジットモデルは、非集計型のロジット相関分析によってカテゴリデータと連続変数の関係を推定し、モデル化する手法である。モデルとして用いられる例は、主に計量経済学や社会工学の分野に多い。しかし、生態学の分野でも群集の分析手法としてロジット相関分析が用いられており(Jongman *et al.*, 1987)、生物と環境の対応関係を分析する上である程度の親和性をもっていると考えられる。また、本研究に用いたデータのように、説明変数の値がランダムに分布することを期待できないデータを処理する上で非集計の解析手法は非常に有用である。

しかし、行動モデルとしてのロジットモデルはいくつかの選択肢の中から1つが選ばれるようなタイプの行動モデル(たとえば、「会社に通勤するのに自家用車を用いるか、それとも公共交通機関を用いるか」といったようなもので、通常は「会社に行かない」という選択肢はない。したがって、選択に関わる説明変数がない場合は、すべての選択肢が同じ確率で起こることが仮定される。)として用いられている。排他的な競争を行う2種のうちどちらが分布するかのようなモデルならば問題はないが、本研究に用いたような形で、繁殖する/しないのような

データからモデルを構築した場合、結果として得られる確率値は、おそらくそのままでは通用しない(例えばある種にとって必要不可欠な資源が全く存在しない場合、繁殖の確率は0であり、繁殖する・しないの予測値として0.5は期待できない)。

本研究では、確率0.5~1の区間のみを有効範囲として考え、検討を加えることにした。また、正確な確率値を導出する手法の検討については今後の課題としたい。

説明変数の加工についての問題点

本研究では、対象種の繁殖に必要な資源や、障害となる要因は土地利用と結びついており、その分布量は土地利用種別の面積に比例すると考えてモデルを構築している。モデル構築において、単に調査地点から一定距離圏内のデータ集計値のみを用いるのではなく、距離のべき乗値の逆数で重みづけした値も用いたため、多くの説明変数を用いた。これは、対象種の行動様式から適当な重みづけ関数ないし資源の有効距離圏を推測できるほどには対象種の生態が知られていないため、複数の距離圏データや多くの関数型を用意し、その中から有効な変数を選択するためである。

今回対象とした種の繁殖に対して正の影響を与える土地利用にしる、負の影響を与える土地利用にしる、調査

地点からの距離が大きくなるにしたがってその影響力が減少することが期待できる。たとえば、正の資源の場合、距離が増大するにつれ、利用のため投資しなければならぬエネルギーや時間が増大し、負の資源の場合は距離が増大するにしたがって忌避に要するエネルギーなどが減少すると考えられるためである。

モデルの形を簡単にするためには、特定の距離圏内の資源のみが影響するとして、一定距離圏の資源量をそのまま説明変数とする事も有効である。しかしその場合は、特定の距離圏内の資源が主に有効であるが、それ以上離れた地点の資源でもある程度の代替性がある可能性を無視することになる。

このような代替性をあらかず距離の減少関数としては、実際には複雑な関数型が期待される。たとえば資源の例として、幼虫の餌の場合を考え、その資源としての有用性がエネルギー投資量に反比例すると仮定し、距離0の地点で餌を発見・獲得した場合の投資エネルギーを E_0 、効果を U_0 、距離 r の地点への探索・移動に要するエネルギーを r の正值増加関数 $E(r)$ とすると、距離 r の地点にある資源の効果 $U(r)$ は式

$$U(r)/U_0 = E_0 / (E_0 + E(r))$$

に従うはずである。

生理-生態学的に距離の効果を見積もるためには、単純な関数から解析を開始し、最終的にどのような関数が最適であるかを突き詰めていくことになるだろう。

その一方で、我々の目的は、点データとして得られた情報をもとにモデルを構成し、平面的に展開することにある。我々の計算機資源を考慮すると、単純な関数を用いて計算をした場合で数日以上以上の計算量があり、複雑な関数を用いた場合には平面的に展開することは不可能であると判断した。

ここで我々は、本論においては生理-生態学的な厳密さを犠牲にし、厳密なモデル化の手法を追求するのではなく、ある程度環境と生物生息の関係を表しうるモデルを構築することに専念した。すなわち、いくつかの「単純な型」の説明変数を用意して、適合性の良いものを選択する方法を採用した。厳密さを犠牲にした代償は、モデルの不適合となってあらわれるが、モデルの限界は統計的に明らかにされる。

生理-生態的に厳密なモデルについては、稿を改めて論じたい。また、本研究の結果から、単純な「距離圏内の土地利用構成比」よりも、距離の関数による重みづけをおこなった変数の方が説明力が高い場合があることが示されている。

モデルの検討

各種のモデルの中で有効な説明変数は、土地利用によってデータの種類が異なっていた。このことは、各土地利

用が種の繁殖可能性に及ぼす効果は、土地利用の種類によってことなる作用の仕方をしてしていることを示していると考えられる。

したがって、単純に一定距離圏の土地利用構成から種の繁殖可能性を見積もるより、土地利用ごとに多種類の距離圏や関数型で検討した方がより正確に繁殖可能性を見積もりうると思われる。

得られたモデルを比較すると、ヒメベッコウでは繁殖に正の影響を持つ樹林の効果圏が非常に狭く、負の影響をもつ独立住宅地の影響圏が広いのに対して、コクロナバチでは正の影響をもつ草地の影響圏が広く、負の影響を持つ2つの土地利用のうち樹林の効果圏は狭く、緑道及び独立住宅の影響圏は広いことがわかる。この2種は同じ竹筒という資源を利用しているにも関わらず、非常に異なった形で環境に適応していると考えられる。

オオフタオビドロバチでは、用意した変数では十分な説明力を持つモデルを構築できなかった。この種は他の2種に比べ大型であり、広い行動域をもつと予想されることから、1)周辺まで含めた土地利用での分析が必要であった可能性と、2)より広い行動域を持つがゆえに、土地利用などのパッチ型の要因だけでなく、幹線道路などの線形の分断要因が強く作用しているなど、対応するスケールが違う可能性の両方の視点から今後検討を加えたい。

得られた二種のモデルから、ヒメベッコウは樹林が繁殖のために必須であり、その一方でコクロナバチでは樹林が阻害的な要素になっていると言える。つまり、この二種については繁殖の条件がほぼ直交していると考えられる。

可視化された繁殖可能性の検討

図1-bを見ると、フラワータウン南部では周辺部の樹林の連なりに対応して、繁殖可能性の高い部分が連続している。これに対し北部および中央部では個々の樹林内部において繁殖可能性は高いものの、樹林の間には繁殖可能性の低い部分があり、各樹林内部でヒメベッコウの個体群は孤立していると考えられる。

北部での分断が存在するため、現在フラワータウンの内部に存在している緑地だけでは、周辺地域のヒメベッコウの遺伝的な交流を確保できていない可能性が高いことがわかる。周辺地域でのニュータウン開発による遺伝的交流への悪影響を軽減させるためには、外周の樹林を補完することによって、外周部だけによって遺伝的交流が行われうるようにすることが効果的であると思われる。(もちろん、現状としてはニュータウン外部に樹林がある程度残存しているために、フラワータウンの開発によって広域的に孤立化が進行しているとは考えにくい、外部の樹林と連携した土地利用計画や緑地計画がない以上、

土地利用計画，緑地計画の立案単位であるニュータウンにおいて遺伝的交流が担保される事が望ましいと考える。）

次にこの種のニュータウン内部での保全を考える。孤立化した樹林のためにコリドーを整備し，ニュータウン全域にネットワークさせるためには，土地利用構造を変更して計画緑地として樹林を再生していくか，あるいは土地利用，特に緑道や独立住宅地などの阻害的な土地利用の質を緩和し，ヒメベッコウが移動できるようにすることが考えられる。このような保全策を考える場合は，どの樹林で孤立化しているかを吟味し，どこにコリドーを配置する必要があるが，図1-bをもとにすれば効率的に検討しうるものと思われる。

しかし，特定種の保全だけでなく，地域生態系の保全を目的として，個々のビオトープ間にコリドーを整備する場合，対象となりうる種は多数になる。総ての種についてこのような資料を用意し，検討することは煩雑な作業になるだろう。効果的に作業を行うためには，何らかの方法で同じような繁殖特性をもつ種をとりまとめ，限定された種に代表させていくことが考えられる。もし，そのような種群について繁殖可能性モデルが構築されれば，その比較は代表種が妥当であるかどうか検討する手段となりうると考えられる。

まとめ

確率モデルを構築し，動物種の繁殖可能性を可視化することにより，それを基礎として地域生態系の保全，ビオトープの整備などについて多くのヒントを得ることが出来た。

このような繁殖可能性・生存可能性などのモデル化・可視化は，地域のビオトープ計画を策定する上で特定種の保全のための具体的な問題点，改善目標を設定する上で有用な基礎資料となりうる事が示された。さらに，総合的な計画の策定のためには，多数の種を総合的に検討する必要があるが，その場合は繁殖可能性モデルの比較

によって複数の種の繁殖環境を特定の種が代表しうるか検討することができると考えられる。

謝 辞

フラワータウン内の土地利用データについて心よく提供して下さいました，服部 保研究部長をはじめとする人と自然の博物館 生物資源研究部の皆様に感謝いたします。

文 献

- R.H.G.Jongman, C.J.F. ter Braak and O.F.R. van Tongeren(ed.) (1987)Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc Wageningen,299pp.
- K.McKelvey, B.R. Noon and R.H.Lamberson(1993)Conservation planning for species occupying fragmented landscapes: the case of the Northern Spotted Owl. In: P.M.Kareiva, et al. eds. "Biotic Interactions and Global change", Sinauer Associates, Sunderland,424-450.
- 池口 仁・武内和彦(1993)数値地理情報を用いた日本列島の潜在自然植生の推定. 造園雑誌 56 (5), 343-348.
- 井手 任・守山 弘・原田直國(1992)農村地域における植生配置の特性と種子供給に関する生態学的研究. 造園雑誌 56 (1), 28-38.
- 武内和彦・李 東根(1988)環境管理計画のフレームワーク, 造園雑誌 52 (2), 95-104.
- 橋本佳明・遠藤知二(1994)三田市フラワータウンとその周辺地域の借坑性カリバチ・ハナバチ類相:竹筒トラップによる地域環境の評価. 人と自然4, 63-70.
- 橋本佳明・遠藤知二(1996)管住性ハチ類からみたニュータウンの環境形態とタウン内残存林のビオトープとしての活用. 人と自然(投稿中).
- 服部 保・上甫木昭春・小館誓治・熊懐恵美・藤井俊夫・武田義明(1994)三田市フラワータウン内孤立林の現状と保全について. 造園雑誌 57 (5), 217-222.

(1996年5月30日受付)

(1996年9月6日受理)