ニホンアカガエルの大阪府南部における生育適地と連結性の推定

Habitat Suitability and Network for the Japanese Brown Frog, *Rana japonica* Gunther in the Southern Osaka

夏原 由博* 神原 恵*

Yoshihiro NATUHARA Megumi KANBARA

摘要：大阪府南部の国土地理情報 2 次メッシュ「富田林」「岩湧山」の範囲で、250 m 方形区単位でのニホンアカガエルの生育環境適合性を卵塊の有無を指標として推定した。現地調査は 2000 年 2 月から 4 月に 175 方形区で行った。このうち、本種の卵塊が分布していたのは 15 個であった。地理情報システムによって、方形区ごとの平均標高、平均傾斜角度、土地利用面積率、谷の有無を取得し、これらを 2 カテゴリー化した値を説明変数として、数量化 2 類（ダミー変数による判別分析）によって本種卵塊の有無を判別するモデルを推定した。その結果、地形要素が判別に高く寄与し、標高は 160 m 以下、傾斜は 10 度以下、樹林面積率 20% 以上で谷の存在する方形区に卵塊が分布すると予測された。対象地 2874 個のうち、208 個で本種が生育可能であると推定された。これらのうち、連続した生育適地の面積が広いほど実際の卵塊出現率が高く、孤立化が局所絶滅からの回復を阻害しているものと考えられた。ロジスティック回帰により方形区 5 個（31.25 ha）以上が連続している場合に、期待出現率 1 が得られた。

1. 序論

丘陵地の都市開発や水田の耕作放棄や耕地整備などの変化によって、農業に関連した湿地生態系の危機が指摘され始めている¹⁾。両生類は湿地と密接に結びついた生活をしており、食物連鎖においても重要な位置を占めている²⁾。両生類が絶滅の危機、あるいは衰退の傾向にある原因として、生育場所そのものの消失・劣化と生育場所の分断があげられる^{2,3,4)}。なかでもニホンアカガエル *Rana japonica* Gunther は成体は森林に生息し、産卵は止水でおこなうため、森林と接した水田などが重要な繁殖場所として利用されてきた典型的な里山生物であり、衰退の傾向が強いと考えられている^{5,6)}。

これまでのわが国のカエル類の衰退の原因解明と保護方法を検討する努力は、生息条件についての詳細な調査に基づくもの^{5,6)}と、地理情報にもとづく地域スケールでの生育適地予測^{7,8,9)}とに分けられる。一連の研究では、生息場所の分断とネットワークについても研究の必要性が指摘されており、孤立化がカエル類の生息に悪影響を及ぼすことが指摘されているが^{12,13)}、定量的には明確にされていない。

種（個体群）の保護のためには、計画段階で保護上重要な地域を避けるなど、地域計画で用いることのできる、生育適地モデルが必要であり、分布情報だけでは不十分である。これは、好適な生息場所であっても、種が常に分布しているとは限らないからである⁷⁾。地域計画において生育環境を評価する試みは、アメリカ合衆国の HEP における生育環境適合性指数 HSI が最初のものであろう⁸⁾そして、HSI のような生育環境モデルを地理情報システム GIS に結合することの有用性が広く認識されつつある⁹⁾。

GIS-生育環境モデルは、実用上いくつかの段階に分けて構築されうる。種の生育適地は、種の生態に関する情報と地理情報の両者を結合することによって評価されるが、一方か両方の情報量が不足している場合にも、利用可能な条件でモデル化されうる。そして、現実との乖離などから、今後必要な情報の整理やモデルの改良がなされるべきである。

さらに、モデルは地理的分布から微小な生育環境に至るいくつかのスケールで構築されるが、より小さなスケールの要因はより大きなスケールの要因によって規定される場合が多い。すなわち、種にとって好適な微小生育環境の有無は、地理的条件の制約を受けるだろう。

本研究では、地域スケールでの地理情報から、ニホンアカガエルの生育適地を評価する判別モデルの作成を試み、加えて、生育適地の孤立化が本種の生息に及ぼす影響を明らかにする。

2. 方法

(1) 現地調査

国土地理院 1/25000 地形図「富田林」および「岩湧山」の範囲内である大阪府堺市、大阪狭山市、富田林市、河内長野市の山地 2 ケ所、丘陵地 4 ケ所、住宅開発された丘陵地 2 ケ所、低地 3 ケ所において 250 m 四方の調査区 175 個を設定した（図-1）。ニホンアカガエルの卵のうは浅い水中に直径 10-20 cm のかたまりで産卵されるため、発見がたやすく、分布調査は産卵時期にあたる 2000 年 2-4 月とした。止水中に産卵するため、水田や休耕田にある水のたまったくぼ地、水路、溜池をくまなく調査して

図-1 評価対象地域（網掛け）
実践は大阪府界および市界を示す。

*大阪府立大学大学院農学生命科学研究科緑地環境保全学研究室

卵塊の有無を記録した。なお、調査地においてこの時期に産卵するカエルには、ニホンアカガエル、ヤマアカガエル *Rana ornativentris* Werner およびニホンヒキガエル *Bufo japonicus japonicus* Temminck et Schlegel があるが、卵塊の形状よりそれらを区別した。

(2) 地理情報

地理情報として、環境庁自然環境 GIS 第 2 版の植生図、国土地理院発行 1/25000 地形図、国土地理院発行数値データ 50m メッシュ標高を用いた。地理情報の処理には Arc View 3.2 および Spatial Analyst 2 (Environmental Systems Research Institute, Inc., Redlands) を用いた。植生図は森林、水田、畑、草地、止水面、都市的土地利用に再編し、250m 方形区単位の土地利用面積率を求めた。さらに本種の産卵場所は、関東では谷戸の地形に多いとされることから¹⁾、生育環境適合性の評価のために土地利用だけでなく地形情報を加えた。傾斜は標高データから求め、1/25000 地形図から幅 5.5m 以上の道路はをトレースし、地形(谷)は同図の等高線から目視により抽出した。なお、解析に際して量的な値はすべてカテゴリ化した。

(3) 生育環境モデル

250m 方形区ごとの平均標高、平均傾斜角度と土地利用面積率をカテゴリ化した値、森林と水田の近接点(10m 以内)の有無、谷の有無を説明変数とし、ニホンアカガエル卵塊の有無を予測する判別モデルを数量化Ⅱ類により推定した。数量化Ⅱ類では、各説明変数のカテゴリをダミー変数とする判別分析であり、*i* 番目の説明変数の *j* 番目のカテゴリの値を $x_{ij} = \{1, 0\}$ とするとき、判別関数 $y = c + \sum (a_{ij} \times x_{ij})$ の値が正か負かによって、個体が 2 群のどちらかに判別される。モデルの選択基準として、正判別率が減少しない場合に最も少ない個数の説明変数とカテゴ

リーからなるものとした。

判別モデルの信頼性を評価するために、Jackknife 推定⁹⁾を用いた。この方法は、*N* 個の総データから、ランダムに 1 個を抜き取り、*N*-1 個のデータによって求めたパラメータを用いて抜き取った 1 個を判別することを繰り返して、正判別率を求めるものである。

(4) 生育環境適合場所の推定と連結性の評価

判別モデルに環境変数を代入することによって対象地域内の 250m 方形区単位の生育環境適合度を算出して地形図上に図示した。そのうち、道路や住宅など都市的土地利用によって分断されず、辺で接している生育適地メッシュを一続きの生育適地と見なし、その面積によって連結性を評価した。

3. 結果

(1) 調査結果

調査した 175 方形区のうち 15 個においてニホンアカガエルの卵塊を記録した(図-2)。産卵場所は、水田上部の水路、水深 50cm 以下の浅い部分のあるため池が主であったが、4 月に導水された直後の水田に産卵した例もみられた。卵塊の有無によって、方形区の環境を比較すると、谷の有る割合は卵塊がある方形区で高く(Fisher の正確確率検定, $P=0.0012$)、標高は 76-157m、傾斜は 3.2-9.6 度の範囲に限られた。樹林面積率と水田面積率は平均値で卵塊があった場所の方が高かったが、統計的に有意な差は認められなかった(Mann-Whitney の U 検定)。畑・草地、ゴルフ場、水面についても両者で差は認められなかった。(表-1)。

(2) 生育環境モデル

環境変数をカテゴリ化する際に、卵塊の有無との分割表において、独立性の帰無仮説に対する有意確率(Fisher の正確確率検定および拡張 Fisher の正確確率検定)がもっとも小さくなるような分割しきい値を求めた(表-2)。2 分割と 3 分割の両方を試みた結果、樹林面積率、水田面積率、傾斜は 3 分割で有意確率が減少したが、他は意味のない分割となるか有意確率が増加した。表-1 で明らかにされていなかったが、樹林面積率と水田面積率は共に、20% から 80% の間で卵塊出現率が高かった。

変数の組み合わせを変えたときの正判別率の変化と偏相関係数から選択したモデルは、樹林面積率、谷の有無、標高、傾斜を説明変数とするもので、この順に偏相関係数は高かった(表-3)。また、カテゴリを 3 個とした場合にも 2 個の場合と比較して正判別率が増加しなかった。採用したモデルでは、
$$U = 0.766 - 0.799x_{11} + 0.520x_{12} + 0.427x_{21} - 0.883x_{22} + 0.299x_{31} - 0.768x_{32} - 0.528x_{41} + 0.599x_{42}$$

表-1 調査した 250m メッシュの地形と土地利用

	卵のう	
	有り	無し
谷 (有/全数)	13/15	69/160
標高 m	112(76-157)	167(50-490)
傾斜 °	6.5(3.2-9.6)	8.0(0.3-26.7)
面積率 %		
樹林	63(25-100)	45(0-100)
畑・草地	0(0-0)	2(0-76)
水田	30(0-75)	22(0-100)
ゴルフ場	1(0-16)	0(0-0)
都市	6(0-51)	29(0-100)
水面	1(0-6)	1(0-19)

数値は、平均値(最小値-最大値)

表-2 カテゴリ化した環境変数と卵塊の有無による分割表と独立性の検定

		樹林	畑・草地	水田	ゴルフ場	都市	止水面	標高	傾斜	谷
2 カテゴリ										
しきい値		0.2	0	0.2	0	0.2	0.1	160	10	
卵有り	カテゴリ-1	0	15	5	13	14	15	15	15	13
	カテゴリ-2	15	0	10	2	1	0	0	0	2
無し	カテゴリ-1	69	149	97	160	99	155	103	111	69
	カテゴリ-2	91	11	63	0	61	5	57	49	91
<i>P</i>		0.0014	0.2942	0.0404	0.0069	0.0149	0.4873	0.0049	0.0115	0.0012
3 カテゴリ										
しきい値 1		0.2		0.2		0.1	0	60	3	
しきい値 2		0.8		0.8		0.7	0.1	160	10	
卵有り	カテゴリ-1	0		5		13	12	0	0	
	カテゴリ-2	11		10		2	3	15	15	
	カテゴリ-3	4		0		0	0	0	0	
無し	カテゴリ-1	69		97		88	130	9	39	
	カテゴリ-2	43		52		36	25	94	72	
	カテゴリ-3	48		11		36	5	57	49	
<i>P</i>		0.0002		0.0278		0.0484	0.7278	0.0011	0.0004	

P は、環境変数と卵の有無が独立であるという帰無仮説に対する有意確率。2 カテゴリの場合は Fisher の正確確率検定、3 カテゴリの場合は拡張 Fisher の正確確率検定)を用い、最も小さな *P* 値の得られるしきい値を求めた。

で、 U が正の場合に生育適地と判別した。
標高は 160m 以下、傾斜は 10 度以下、谷は有る場合、森林面積率 20% 以上で卵塊の出現可能性が高いと予測された。
判別の正解率は 87.5% で、誤判別は、実際には卵塊がなかったにも関わらず、卵塊があると判別された 20 個と実際には卵塊があったがないと判別された 2 個であった (図 3, 表 4)。Jack-

図－2 ニホンアカガエル卵塊有無の調査結果 方形区の 1 辺は 250m

図－3 判別結果と実際の調査結果の比較

表－3 採用した判別モデルの説明変数とその係数

説明変数				
	森林 (%) x_1	標高 (m) x_2	傾斜 ° x_3	谷 x_4
境界値	0.2	160	10	
係数				
1	-0.799	0.427	0.299	-0.528
2	0.520	-0.883	-0.768	0.599
間隔	1.319	1.310	1.067	1.127
偏相関係数	0.262	0.206	0.161	0.232

説明変数が境界値よりも小さいときに、 $x_1=1$ かつ $x_2=0$ 、大きいときにその逆とし、判別関数、 $U = -0.799x_1 + 0.52x_2 + 0.427x_3 - 0.883x_4 + 0.299x_1 - 0.768x_2 - 0.528x_3 + 0.599x_4$ で、 U が判別区分点 $= 0.768$ より大きい場合に生育適地と判定した。
相関比 0.269

図－4 大阪府南部 2874 方形区についての生育適地評価

knife 法による正判別率は 86% であった。
なお、このカテゴリー数量を本種の生育環境適合度 HS とし、判別得点である諸環境要因の生育適合度の和を方形区単位の生育環境適合度指数 HSI とみなすことができる。
(3) 生育適地の推定

この判別関数によって、対象地域 2874 方形区の判別得点を求めて、そこでの卵塊の有無を予測したところ、208 方形区が潜在的な生育適地であると推定された (図－4)。図で下方は山地、上は低地へと続いている。推定された生育適地が山地ではほとんどなく、丘陵地から低地にかけて多いことを示している。これは、調査で得られた卵塊の有無によって区別した方形区群の間で、標高と傾斜の分布に著しい差が見られたことによるものであろう。
生育適地と評価された方形区間が幅 5.5m 以上の道路や都市的土地利用によって分断されておらず連続している範囲を求めたところ 75 個のパッチに分けられた。それぞれの面積を求め、実際に調査した方形区が属しているパッチの面積による卵塊出現率の変化を見ると、面積が増加するにつれ、卵塊のあるメッシュの割合が増加した。この卵塊出現率 P と面積 A の関係は、ロジスティック式で近似すると、
 $P = 1 / (1 + \exp(1.589 - 0.0179 A))$
となり、卵塊出現率が 50% を超えるのは 88.6ha (14 方形区) 以上にわたって生育適地が連続している場合であると推定できた (図－5)。また、期待出現率とパッチあたりの方形区の個数の積が 1 以上になるのは方形区数 5 (31.25ha) であった。生育適地のパッチにこの推定を適用した結果、75 パッチのうち卵塊出現率が 1 以上であるのは 16 であった。

表－4 判別結果

	予測値		合計
	不適	適	
実測値 卵無し	140	20	160
卵有り	2	13	15

正判別率: 87.5%
Jackknife 法による正判別率 43/50 (86%)

図-5 連続した生育適地の面積と卵塊出現率、ヒストグラム：実測値、曲線：ロジスティック回帰による推定値

4. 考察

判別基準に基づく生育適地の評価の必要性は以下の点にある。より広い未調査の地域について予測が可能であること、推定に用いた仮定と環境変数を明確にすることによって、環境の変化に伴う地域個体群への影響を評価し、保全戦略を構築することが可能になること、そして、地域計画の他の側面と共通のプラットフォーム上でシナリオ分析を行うことを可能にすることである。

本研究では、調査範囲全体で利用可能な植生図やデジタル標高モデルが、それぞれ縮尺1/50,000と50mメッシュであり、微小な生息場所を把握できないこと、そして実際の卵塊出現場所が少ないことから、標高、傾斜、谷の有無、樹林面積率をそれぞれ2カテゴリーに分類した単純なモデルを採用し、正判別率87%を得た。卵塊のある標高や傾斜が中間の値に限られているにもかかわらず(表-2, -3), 判別のために3カテゴリーでなく2カテゴリーで十分だったのは、標高が低いか傾斜が小さな方形区では、谷がないか樹林面積が小さいために、判別得点が小さくなったことによる。

卵塊がみられたのに生育適地でないと判別された2方形区は、樹林と谷あいの水田に隣接した水田で、耕地整備された乾田だが、4月に導水後に産卵された。逆に卵塊がみられない20方形区を

生育適地と推定したが、誤判別の原因は、生態学的な問題と、データやモデル自体に含まれる問題とに帰せられよう。前者としては、生息場所の断片化にともなう局所個体群の絶滅によって、占有されていない生息場所が常に存在する可能性が考えられる。本研究において、方形区あたりの卵塊出現率が面積に依存し、小面積で孤立した生息適地において出現率が低かったことは、孤立した生息場所において、局所個体群の絶滅が再移住によって回復されないことの結果であると推測される。

生息場所の断片による地域個体群の絶滅を避ける方法としては、4方形区(25ha)以下に断片されるような開発を避けることと、すでに孤立化している場所を何らかの方法で連結することが必要である。また、小面積で孤立した場所については、後記のように放棄水田の湿地化など微小生息環境を改善することによって生息場所としての質を向上させ、個体数を増加させることも絶滅リスクの低減に効果的であると考えられる。

微小生育環境については、従来から以下のように指摘されている。稲作の放棄された水田では、ニホンアカガエルが局地的に絶滅する⁶⁾。本種の産卵は2-3月、水田耕作開始前であるため、産卵場所は湿田など冬季も水がたまっている場所に限られる。このような場所は、関東においては谷戸形状を維持している地点で局地的に分布しており、谷戸形状の維持、周辺樹林地との連続性を保つこと、および湿田耕作をおこなうことが、本種の保全につながるとされている⁵⁾。これらに加えて大阪南部では、冬期降水が少なく、春の水の供給は低地から丘陵地にかけてはため池の水に依存しているため、今後の本種の産卵場所予測にも、1/50000植生図にないような浅いため池やため池からの漏水場所など大阪南部の特性を考慮する必要があるだろう。

データおよびモデルの限界については、使用した地理情報には含まれていない微小生育環境が産卵場所として利用されている点があげられる。こうした微小な生息場所のうち、谷地形やため池などについては、今後整備が予定されているより解像度の高い地理情報の利用によって、抽出精度が高まるものと考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、日本大学生物資源学部大澤啓志氏に調査法について、兵庫県人と自然の博物館三橋弘宗研究員、(株)地域環境計画松林健一氏にはGISについてご教示を受けた。また、大阪府立大学大学院農学生命科学研究科上野浩司、由井亜右子両氏には野外調査に協力していただいた。謝意を表する。

引用文献

- 1) 守山弘(1997): 水田を守るとはどういうことか: 農山漁村文化協会, 東京
- 2) 長谷川雅美(1995): 環境影響評価における両生類、爬虫類調査の位置付け「自然環境への影響予測-結果と調査法マニュアル」(沼田真編): 千葉県環境部環境調査課, 千葉, 147-160
- 3) 環境庁(2000): 改訂版レッドデータブック<爬虫類・両生類>概要: http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html
- 4) Sinsch, U. (1992): Structure and dynamic of a natterjack toad metapopulation (Bufo calamita): Oecologia 90, 489-499
- 5) 大澤啓志・勝野武彦(1998): 流域単位からみた谷戸の特性とカエル類保全に関する考察: ランドスケープ研究 61(5), 529-534
- 6) 長谷川雅美(1998): 水田耕作に依存するカエル類群集、水辺環境の保全「生物群集の視点から」(江崎保男・田中哲夫編): 朝倉書店, 東京
- 7) Levins, R. (1999) Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control: Bull. Entomol. Soc. Amer. 15, 237-240
- 8) U.S. Fish and Wildlife Service (1981): Standards for the development of suitability index models: Ecological services manual 103: U.S. Department of Interior, Fish and Wildlife Service, Division of Ecological Services: Government printing Office, Washington, D.C.
- 9) Aspinall, R. (1993): Use of geographic information systems for interpreting land-use policy and modelling effects of land-use change: in Haines-Young, R. Green, D.R. and Cousins, S.H. (eds.) Landscape Ecology and GIS: Taylor & Francis, London, 223-236
- 10) 小川原孝生・有田一郎(1996): 千葉県西部における生物多様性ポテンシャル調査 ニホンアカガエルと鳥類による評価手法の検討: 生態計画研究所年報 4, 1-22
- 11) 藤原宣夫(2000): 生き物技術とGISの活用: CLA journal, 14-17
- 12) Efron, B. and Gong, G. (1983): A leisurely look at the bootstrap, the jackknife, and cross-validation: The American Statistician, 37, 36-48

Summary : Habitat suitability of the Japanese brown frog, *Rana japonica* Gunther in the southern Osaka was estimated by the discrimination analysis with dummy values. We investigated presence or absence of the eggs in 175 grids among 2874 grids of 250x250 m in the study area from February to April 2000. We recorded the eggs at 15 of 175 grids studied. Potential habitats for the frog were estimated by the average altitude, slope, land uses, and presence of valley at the grids arranged in GIS. The altitude, slope and valley contributed mostly to the discrimination of the habitats. Higher suitability was given with the forest cover of more than 20%, altitude of less than 160 m, less than 10% of slope, and the presence of valley. We estimated that 208 grids of the study area were the potential habitats. These grids made 75 clusters. Incidence of eggs in a batch of the potential habitat increased with increasing area of the batch. Logistic regression estimated that at least five grids (31.25ha) of the continuous habitat was needed for expected incidence reach 1.