都市環境の広域的評価の指標種としてのシジュウカラ生息分布予測モデル

Evaluation of Urban Natural Environment Using Habitat Prediction Models of the Great Tit as an Indicator Species

百瀬 浩* 伊勢 紀** 橋本 啓史*** 森本 幸裕**** 藤原 宣夫*
Hiroshi MOMOSE Hajime ISE Hiroshi HASHIMOTO Yukihiro MORIMOTO
Nobuo FUJIWARA

Abstract : A field census was conducted in 384 study meshes each with the size of approximately 500 by 500 meters. Number of great tits (*Parus major*) was recorded in each mesh. The results of the census showed that the great tits tended to use forested area in the breeding season and moved to river and urban areas in the non-breeding season. Using the same data, multiple regression models were constructed to predict the relative abundance of great tits from several environmental factors relating to land use and forested area read from 15m-grid satellite imagery taken by EOS Terra/ASTER sensor. One of the models explained more than sixty percent of the variation in great tit numbers. Utilization of the evaluation method such as this model in wide area land use and urban planning was discussed.

Keywords: urban natural environment, indicator species, Great tit, habitat, habitat prediction model, GIS

キーワード: 都市環境, 指標種, シジュウカラ, 生息地, 生息予測モデル, GIS

1. はじめに

21世紀を迎えたわが国では、持続可能な社会をめざす新しい国土管理手法が求められており、その中では社会基盤整備と環境保全の両立が大きなテーマとなっている¹⁾。2002年の総合科学技術会議において国家の重点研究プロジェクトとして採択された「自然共生型流域圏・都市再生イニシアティブ」では、河川流域を国土の重要な構成要素として位置づけ、源流部に存在する山地、中流部の農村・里山、下流部に広がる都市の有機かつ健全な関係を回復することで、都市を含む流域圏全体を再生させることを大きな目標として共同研究が進められている²⁾³⁾。

流域圏の環境保全機能の評価に際しては、樹林、草地、湿地など流域圏を構成する各種の生態系要素について、その分布の現況と将来の変化が予測できることが望ましく、そのためには環境・土地利用と生態系要素との関係を把握する必要がある。これにより土地利用変化が環境に与える影響の将来予測が可能となり、複数の将来計画案の環境面からの相対評価ができるからである⁴⁾。

本研究では、都市の自然環境評価のために都市生態系指標種としてシジュウカラ *Parus major* を取り上げ、その生息予測モデルを構築する。シジュウカラはユーラシアのほぼ全域に分布するスズメ目の小鳥で、多くの研究があり生態や習性がよく知られた種である⁵⁾⁶⁾。Perrins⁵⁾によれば、本種は多様な樹林環境に出現するが、連続的な樹林、特に針葉樹林よりも林縁部や疎林など比較的開けた環境を好む。日本でも樋口⁷⁾が、巣箱設置調査により本種が他のカラ類（この場合ヤマガラ）と比較して樹林内部よりも林縁や疎林的な環境を好むことを明らかにしている。このように本種は多様な樹林の環境に生息するため、必ずしも都市生態系に固有の指標種とはいえないが、開けた環境を好む性質から、庭園や都市公園、墓地などに普通に見られる⁸⁾。このことは、樹林の環境が比較的豊かで、野生鳥類が人と共存可能な都市内環境の指標として本種が利用できる可能性を示唆している。本研究において、既往研究で多く用いられている生物の種数⁹⁾¹⁰⁾や鳥類群集

の構造¹¹⁾¹²⁾¹³⁾といった複合的な指標でなく、単一の指標種による評価手法を検討したのは、例えば都市再生といった課題は多くの人々の理解を得て進める必要があり、評価結果のわかりやすさも重要と考えたためである。また、広域かつ面的な評価を試みることの理由は、こうした評価手法並びに評価結果が、都市計画や土地利用計画を立案する上で必要不可欠な資料となるからである。

シジュウカラの生息予測モデルについては、橋本・夏原による既往研究がある¹⁴⁾が、詳細スケールでの生息適合度を扱っているため、広域的には得にくい環境データ等を使用している。本研究では、衛星画像、土地利用データといった広域的に利用可能なデータを用いて、汎用性の高い予測モデル構築を試みるものである。

2. 研究方法

(1) 調査地と調査方法

事例地として、東京都とその周辺の関東地域を選定した。シジュウカラの生息モデルを構築するためのデータとして、栃木県宇都宮市から芳賀郡にかけての地域（図-1の「栃木調査地」および図-2）を選定し、この地域で鳥類のセンサス調査を行ってシジュウカラの個体数を調べた。調査はメッシュ単位で行い、標準地域メッシュの3次メッシュ（以下1kmメッシュと呼ぶ）を縦横とも2分割した500mメッシュ（以下こう呼ぶ）を単位として、各メッシュに500mのセンサスルートを設定し、調査員1名がルート上を時速2kmで歩きながらメッシュ内に見える（聞こえる）限りの範囲でシジュウカラの個体数を成鳥・幼鳥の区別と共に記録した。調査は2000年の5～6月（繁殖期）と2001年の12月から2002年の2月にかけて（越冬期）各2回ずつ実施した。調査時間帯は、繁殖期調査では日の出から午前8時頃まで、越冬期調査では午前中とした。調査メッシュ451の内、後の解析では衛星画像が得られた範囲の384メッシュを用いた。

栃木調査地のセンサス結果から構築されたシジュウカラ生息予測モデルの検証のために、東京都が実施した鳥類調査の結果を用

*国土交通省国土技術政策総合研究所 **京都大学大学院地球環境学舎 ***京都大学大学院農学研究科 ****京都大学大学院地球環境学舎

いた（図－１の「東京調査地」）¹⁵⁾。東京都の調査は1997年の5～6月に行われたもので、メッシュサイズが1kmで、センサスルート（長さ1km、調査時間帯が午前中である）は、栃木調査地の繁殖期調査と同じ方法が用いられた。ただし、調査したメッシュは、栃木のように調査地全域ではなく、一部のメッシュを抜き出して調査が行われている。後の解析では、全313調査メッシュ中、衛星画像のある231メッシュ（図－１に赤い箱で示した）を用いた。

（２）調査地の環境要因の数値化

事例地として、東京都とその周辺の関東地域を選定し、各種の地理情報をGISデータベースとして整備した³⁾。この内、本研究で解析のため環境要因として使用した情報は、国土数値情報の100mメッシュ土地利用データ（L03-03M, 1991年）と衛星画像（EOS-Terra/ASTER）から抽出した樹林分布データである。土地利用については、元の11区分を取捨・統合して草地（田、その他農用地、荒地、ゴルフ場を統合）、人工地（建物用地、幹線交通用地、その他の用地を統合）、水域（河川地及び湖沼）の3区分とした。樹林の抽出に用いたASTERは2000年12月から運用され、15mの空間分解能と、可視域から熱赤外域にかけて計14のバンドを持つセンサーである。元画像は2002年6月7日、8月10日に撮影された3シーンの画像で、これらを幾何補正して地理情報を与えた後、モザイク処理により接合した。次に植生指標の一つであるNDVIを計算し、値が0.5以上の地域にマスク処理を行ってそれ以外を除去した。NDVIはバンド3（近赤外域、0.78～0.86μm）とバンド2（赤色、0.63～0.69μm）の値を用いて、次式により定義される。

$$NDVI = (Band3 - Band2) / (Band3 + Band2)$$

平野ほか¹⁶⁾は東京周辺でASTERと同じ波長帯の近赤外／赤色域のバンドを持つJERS-1 OPSを用いてNDVIと緑被率の関係を調べ、土地利用データによる検証を行っている。これによれば、樹林が卓越すると考えられる「山林・荒地等」の地域ではNDVIが概ね0.5以上の値を示すことがわかっているため（「農地」や公園・緑地等では0.1～1.0）、ここではしきい値として0.5を用いた。

次にマスクした地域で教師なし分類（6分類）を行い、濃い緑として分類された地域を樹林と見なし、それ以外を0とする樹林分布予測図を得た。教師なし分類は画像に含まれる画素データを無作為にサンプリングしてクラスタリング処理を行い、比較的等質と考えられるグループに機械的に分割して分類クラスとする手法である¹⁷⁾。一般的には対象地域内で十分な現地調査（グラウンドトゥールズ）を行い、それに基づく教師つき分類を行なうことが望ましいが、本研究では事例地が広く現地調査が実施できなかったため、教師なし分類を採用した。一連の画像処理にはERDAS社のIMAGINE 8.5を用いた。土地利用、樹林分布のデータは、1kmと500mのメッシュ単位に面積率として整理した。GISデータの処理にはESRI社のArcInfo 8.3を使用した。

（３）シジュウカラの分布と環境選択性

まず、栃木調査地について地形分類図（土地分類基本調査）と植生図（環境省自然環境GIS）を参考に、調査地を大きく6つに区分して、メッシュを分類した（図－３）。栃木調査地は、西（図の左）側から順に、宇都宮市街地（都市）と郊外、鬼怒川河川敷、芳賀台地（自然堤防）、五行川氾濫原、丘陵地（台地の谷戸地形）が見られ、宇都宮郊外と五行川氾濫原は水田が卓越した土地利用となっている。この地域でのシジュウカラの出現傾向を検討するため、上記の各区分で出現したシジュウカラ個体数と、区分毎の面積に応じて出現総個体数を配分した期待値を用いてカ

イ2乗検定によるシジュウカラ出現メッシュの分布の一意性の検定を行った。また、各区分に属するメッシュ数の全体に対する割合（p）と、シジュウカラが出現したメッシュ数の全メッシュ数に対する割合（r）を用いてIvlevの選好性指数¹⁸⁾ $D = (r - p) / (r + p)$ を区分毎に計算した。

（４）シジュウカラの生息予測モデル構築

栃木調査地の繁殖期データについて、メッシュ毎のシジュウカラ成鳥の確認個体数を目的変数とし、環境要因として国土数値情報の100mメッシュデータから求めた草地、人工地、水域の面積比率と、衛星画像から判読された樹林地率を説明変数とした重回帰分析を行い、予測モデルを構築した。その際、解析単位としてのメッシュの大きさは1km、500mの2種類を用い、各面積比率はアークサイン変換を行った。また、変数選択はP=0.20を取捨選択の基準としたステップワイズ法を用いた。さらに、事例地全域（関東地域の内衛星画像が得られた地域）に予測モデルを適用して図化するとともに、モデルの妥当性や広域的な適用性を検討するため、予測結果を東京都の鳥類調査結果と比較、検証した。

３．結果

（１）シジュウカラの分布と環境選択性

図－４と図－５は、繁殖期と越冬期の調査で、シジュウカラが出現したメッシュの分布を示したものである。図－３の各環境区分で出現したシジュウカラ個体数と、区分毎の面積に応じて出現総個体数を配分した期待値を用いてカイ2乗検定を行ったところ、繁殖期、越冬期とも分布が一樣であるという帰無仮説は棄却された（ $P < 0.001$ ）。

図－６は、シジュウカラの各環境区分に対する選択性を示すために、方法で述べたIvlevの選好性指数を繁殖期と越冬期に分けて示したものである。この指数は+1から-1の値をとり、+で選好を、-で忌避を表す。シジュウカラは、樹林環境が卓越する芳賀台地と丘陵地には、都市、水田地帯と比べて強い選好性を示した。また、越冬期に河川と都市に対する選好性が増加する傾向が見られた。

（２）シジュウカラの生息予測モデル構築

表－１に、環境要因群からシジュウカラ個体数を予測する重回帰モデルを、解析単位に500mメッシュを用いたものと1kmメッシュを用いたものの2種類示した。1kmメッシュのモデルでは、当てはまりの良さを示す決定係数 R^2 の値は0.627で、個体数変動の6割強を説明することができた。

さらに、この1kmモデルを用いて、事例調査地である関東地域（ASTER画像が得られた範囲）の繁殖期におけるシジュウカラ出現個体数の分布予測図を図－７に示した。本図の、例えば東京都区内では荒川区、足立区、葛飾区などまとまった緑地が少ない地域で値が小さく、大規模緑地を有する千代田区や新宿区などでは値が大きくなっていることなどが見てとれる。

図－８は、本研究で構築した生息予測モデルの精度を検証するため、東京都が調査を実施したメッシュにおいて、モデルによる予測値と調査による実測値を比較するために散布図を描いたもの

表－１ 繁殖期のシジュウカラ成鳥個体数（センサス時の出現予測個体数）を予測する2種の重回帰モデル。表の数値は各変数の偏回帰係数を、()内はt検定によるp値を示す。各環境要因についての説明は本文を参照。

モデル番号	メッシュサイズ	樹林地	人工地	水域	定数	R^2	P値
1	500m	0.315 (0.000)	0.068 (0.003)	-0.071 (0.038)	-0.031	0.334	0.000
2	1km	0.885 (0.000)	0.248 (0.006)	-0.166 (0.147)	-0.139	0.627	0.000

()内は各説明変数のP値

図－１ 調査地（栃木と東京）の位置と調査メッシュの配置
赤い箱が調査を行ったメッシュを示す。背景は樹林地の抽出に用いた Terra/ASTER の画像。

図－２ 栃木調査地の位置および概況と調査メッシュの配置
背景図は環境省作成の自然環境 GIS（現存植生図）を統合したものをを用いた。

図－３ 調査地内のメッシュの環境区分とメッシュ数
背景図と凡例は図－２ と同じものを使用している。

図－４ 繁殖期の調査でシジュウカラが出現したメッシュ

図－５ 越冬期の調査でシジュウカラが出現したメッシュ

図－６ シジュウカラの各環境区分への選好性指数

図－７ 本研究で作成したシジュウカラ予測モデルを関東地域（ASTER 画像が得られた範囲）に適用して描いた、繁殖期のシジュウカラ出現個体数の分布予測図 結果が負の地点は 0 とした。

である。両者の相関は0.362 (R^2 は0.13)であり、モデルでは出現が予測されたが実際にはシジュウカラが全く記録されなかったメッシュが相当数あるなど、乖離が見られた。

4. 考察

(1) シジュウカラの生息地選択

栃木調査地での結果から、繁殖期のシジュウカラは樹林地への依存が強く、冬は河川敷や市街地に進出する傾向があった。越冬期の生息地が繁殖期と異なる場合、両者の保全が重要となる。本種の場合、特に河川敷の疎林環境が重要である可能性があり、今後更に調査する必要がある。

(2) シジュウカラ生息予測モデルの妥当性

本研究で構築した重回帰分析による生息予測モデルには、いくつかの問題点がある。まず、メッシュの大きさが500mまたは1kmと、詳細な検討・計画には使いにくいスケールである点である。これは、予測データ(衛星画像が空間解像度15m、土地利用が100m)ではなく、鳥類分布データの制約によるものである。分布データの多くが1kmメッシュで作られており、この点は今後も問題として残るが、広域的検討には差し支えないと思われる。

生息予測モデルと実測値の乖離については、モデルを東京都のデータで検証した図-8で、予測では生息が期待されたが実測値ゼロのメッシュが認められ、これらの大部分が、東京調査地の東部に位置する樹林地の少ないメッシュであった。理由としては、メッシュ内の樹林地面積が同一でも、東京調査地、特に都心部では隣接地域にまとまった樹林がない事が考えられる。今後は面的な景観要素の面積率のみではなく、要素の配列や隣接関係などのネットワーク構造も評価する必要がある。一方、全体的には予測値を実測値が上回るケースが目立ったが、これは、衛星画像からの樹林地抽出において、ピクセル単位で樹林地か否かを判断したため、街路樹などの存在が考慮されなかったためと考えられる。

また、今回のモデルでは樹林地の種類(広葉樹か針葉樹か、など)や質(例えば林床の状態)を評価していないが、こうした要因もモデルの精度に影響した可能性がある。

さらに、予測結果と絶対的な生息密度との関係が明らかでない点も、今後の調査研究により改良する必要がある。

(3) シジュウカラ生息予測モデルの都市計画への適用

本研究では、シジュウカラ個体数予測のために、土地利用データ及び衛星画像(Terra/ASTER)を用いて、精度(決定係数)0.6程度(ただし調査地外では0.13)の予測モデルを構築することができた。衛星画像には広域性、同時性、即時性などのメリットがあり、土地利用データも定期的に更新されている。こうした一般的な情報から予測した広域的な生態系評価結果があれば、例えば複数の都市計画案の下での都市環境の将来予測などが可能になると期待される。その際、生態系に係わる他の多くの評価軸と併用しながら、総合的な評価を行う必要があることは言うまでもない。

都市内の比較的良好な緑地環境に生息可能で、姿が美しく目立つ小鳥であるシジュウカラは、都市環境再生のための誘致目標種としても好適であると考えられる。その意味からも、本種の生息適合性と都市の暮らしやすさ、景観など、都市再生にかかわる他の評価基準との関係を明らかにしていく必要がある。

謝辞: 東京都環境局自然環境部に鳥類調査データを、環境省生物多様性センターに現存植生図データ(自然環境GIS)をご提供

図-8 栃木調査地のデータにより構築されたシジュウカラ生息予測モデルによる予測値(横軸)と、東京都の調査による実測値(縦軸)の関係を示す散布図(両軸とも単位は個体数の対数)

頂いた。(財)日本野鳥の会には栃木調査へのご協力の他、同会の植田睦之氏に選好性指数につきご教示頂いた。(株)国土情報技術研究所の亀井慎一郎氏には衛星画像を整備して頂いた。校閲者の方々は有益な助言を多数頂いた。皆様に厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 国土庁計画・調整局(1999): 21世紀の国土のグランドデザイナー地域の自立の促進と美しい国土の創造-: 時事通信社, 東京, pp.416
- 2) 吉川勝秀(2003): 「自然共生型流域圏・都市の再生」について: 土木技術資料 45(5), 16-23
- 3) 田中伸治・百瀬浩・吉川勝秀・奥山祥司・藤田光一(2003): 基盤情報のGIS化と統合アプリケーションの開発: 土木技術資料 45(5), 34-37
- 4) Steinitz, C., Arias, H., Bassett, S., Flaxman, M., Goode, T., Maddock, Thomas III, Mouat, D., Perser, R. & Shearer, A. (2003): Alternative futures for changing landscapes - The upper San Pedro river basin in Arizona and Sonora. Island Press, Washington, pp.202
- 5) Perrins, C. (1979): British Tits. London, Collins, pp.304
- 6) 浦本昌紀(1966): 鳥類の生活: 紀伊国屋書店, 東京, 344pp.
- 7) 樋口広芳(1978): 鳥類における巣箱の森林タイプ別利用状況と架設・非架設地域における繁殖密度: 日本林学会誌 60, 255-261
- 8) Clamp, S. & Perrins, C.M. (Eds.) (1993): Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa, Vol. VII. Flycatchers to Shrikes. Oxford University Press, Oxford, pp.581
- 9) 樋口広芳・塚本洋三・花輪伸一・武田宗也(1982): 森林面積と鳥の種数との関係: Strix 1, 70-78
- 10) 平野敏明・遠藤孝一・仁平康介・金原啓一・樋口広芳(1985): 宇都宮市における樹木率と鳥の種数との関係: Strix 4, 33-42
- 11) 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
- 12) 日置佳之・藤原宣夫(2001): 生態ネットワーク計画のための鳥類の生息適地図作成: 土木技術資料 43(10), 211-216
- 13) 加藤和弘(1996): 都市緑地内の樹林地における越冬期の鳥類と植生の構造の関係: ランドスケープ研究 59(5), 77-80
- 14) 橋本啓史・夏原由博(2002): ロジスティック回帰をもちいた都市におけるシジュウカラの生息環境適合度モデル: ランドスケープ研究 65(5), 539-542
- 15) 東京都環境保全局(1998): 東京都鳥類繁殖状況調査報告書(平成5~9年度): 東京都環境保全局自然保護部緑化推進室
- 16) 平野勇二郎・柴崎亮介・安岡善文(2000): 都市域におけるNDVIと緑被率の関係の解析と緑被率推定: 日本写真測量学会平成12年度年次学術講演会発表論文集, 67-72
- 17) 日本リモートセンシング研究会(編)(2001): 改訂版 図解リモートセンシング: (社)日本測量協会, 東京, pp.325
- 18) Ilev, V. S. (1955): Experimental ecology of fish nutrition. Moscow. (in Russian) [児玉康雄・吉原友吉訳(1965): 魚類の栄養生態学: 新科学文献刊行会, pp.261]