

## 都市および近郊の小規模樹林地で記録された鳥類の種組成に影響する要因

Factors influencing avian species composition recorded in urban and suburban small wooded patches

加藤 和弘\* 吉田 亮一郎\*\* 高橋 俊守\*\*\* 笠原 里恵\*\*\*\* 一ノ瀬 友博\*\*\*\*\*

Kazuhiro KATOH Ryoichiro YOSHIDA Toshimori TAKAHASHI Satoe KASAHARA Tomohiro ICHINOSE

**Abstract:** Urban matrix is often considered to be an area contributing to urban biodiversity quite a little. Recent studies indicated, however, some small patchy habitat such as private gardens, pocket parks and other kind of small vegetative patches may support certain ecological communities. We surveyed avian species composition in 125 small (50 - 20,000 m<sup>2</sup>) wooded patches within urban or suburban landscapes during both wintering and breeding seasons in and around Tokyo, Japan. The results indicate that the most apparent community gradient can be considered to represent urbanization gradient that has a significant relationship with patch size and vegetation coverage of tree layer. The distance between the small patch and the nearest large (5 ha or larger) patch and landscape scale urbanization estimated from satellite imagery showed a significant relationship with the community gradient only in wintering season. This result could be explained considering the fact that the mobility of avian individuals tends to be higher in winter than in breeding season.

**Keywords:** *small wooded patch, avian community, habitat patch, landscape matrix, urbanization gradient*

キーワード：小規模樹林地、鳥類群集、生息場所パッチ、マトリクス、都市化傾度

## 1. 研究の背景

都市内にパッチ状に存在する樹林地は、都市に生息する各種生物の生活の拠点として機能し<sup>22)</sup>、その生息場所としての機能に関与する要因は数々の研究によって明らかにされてきた<sup>39)</sup>。パッチ状樹林地に生息する生物の種組成や種多様性に関与する要因としては、樹林地の植生の空間構造の複雑さ<sup>21)</sup>、樹林地面積<sup>2)</sup>、緑道等による近隣の樹林地との連結<sup>31)</sup>、樹林地間の距離<sup>9)</sup>などが、これまでに報告されている。

最近では、樹林地を取り巻く空間が動物にとっての移動経路となり、他の樹林地との連結性を増大させたり、あるいは補助的な生息場所となって面積の不足を補ったりする可能性も指摘されている<sup>38)</sup>。パッチ状樹林地の生物生息場所としての機能を向上させる手段が、今後利用可能な土地があまり残されていない都市では大きく制約されていること<sup>21)</sup>を考えた場合、周囲の空間のありかたを改善して生物生息地としての樹林地の質を向上させることは、都市における生物多様性の保全や再生のための、あるいは人間と生物とのふれあいの機会を増すための、実施可能な手段となり得る<sup>39)</sup>。

景観生態学において、注目されるパッチやコリドーを取り巻いて広がる空間は、マトリクスと定義される<sup>10)</sup>。必ずしも均質な空間ではなく、マトリクスとされる空間自体が、多様なパッチとコリドーが組み合わさったモザイクであることも多い<sup>3)</sup>。都市のパッチ状樹林地に対するマトリクスもまた、高層建築物、低層建築物、道路、鉄道、小規模な木立や草地、植え込み、空き地といった何種類もの景観構成要素のモザイクといえる。都市のパッチ状樹林地に対するマトリクスが、動物の移動経路や補助的な生息場所として機能しているならば、マトリクスを構成するモザイクのうち、木立や、ごく小規模なパッチ状樹林地(以下、両者をあわせて小規模樹林地とする)が、より大きなパッチ状樹林地を利用する動物にとって、移動の中継地や補助的な採食空間となっている可能性が考えられる。実際、パッチ間の移動の途中に補給できる

餌の存在は、移動の成功を左右し得ることもある<sup>6)</sup>。樹林地性の鳥類の場合、周囲の草地に残る孤立木が鳥類の食物となる果実を生産することで林内の鳥類を誘引することが知られており<sup>13)</sup>、都市においても小規模樹林地内の植物が、この孤立木と同様の働きをするかもしれない。

小規模な樹林地や植栽地を対象とした研究としては、住宅の庭にやってくる生物、特に鳥類を対象とした研究が行われてきた。生物の生息場所としての住宅の庭は、個々には小規模であっても無視できない役割を果たしているという主張は以前からあったが<sup>4)</sup>、具体的な研究は比較的最近のことで、庭の面積や庭の中の植栽の種組成や構造、周囲の都市化の程度によって鳥類の飛来状況が異なることが明らかにされてきた<sup>7)</sup>。

住宅の庭とともに都市における小規模樹林地の主要なものと考えられる公共の小規模樹林地や緑地(本論文では樹木被覆が必ずしも連続していない場合は緑地と呼ぶ)には、住宅の庭よりも大面積なものが含まれる。これを対象とした事例としては、埼玉県所沢市で行われた一ノ瀬と加藤によるものが挙げられる<sup>17)</sup>。0.12~2.07haの小規模樹林地を調査し、樹林地面積に加えて、隣接地の土地利用と樹林地内の植生構造の発達の度合いが、樹林地内の鳥類相に影響していたと述べている。Strahbachらはアメリカ合衆国ボストンの小規模な緑地(52~4377 m<sup>2</sup>)で調査を行い、小規模緑地の鳥類相は近隣の大規模緑地(100ha以上)とは異なり、むしろ住宅地と近いが、住宅地よりは種数が多く、緑地の面積と樹洞を有する樹木の有無が種数の増加に寄与していたと報告している<sup>37)</sup>。Ikinらはオーストラリアのキャンベラで、面積0.5~2haの「ポケットパーク」で鳥類を調査し、ポケットパークを含む地域全体の緑地面積と鳥類の生息状況がよく対応していることを示した<sup>19)</sup>。Carbó-RamírezとZuriaは、メキシコのPachuca市で0.1~2haの緑地19箇所を調べ、面積が大きく、隣接地における建物が少ない緑地で鳥類の種多様性が高まることや、特に昆虫食の種は、高木の丈が高く、高木や低木の種が豊富で、隣接地の植

\* 放送大学教養学部 \*\* 東芝インフォメーションシステムズ(株) \*\*\* 宇都宮大学地域連携教育研究センター \*\*\*\* NPO 法人バードリサーチ \*\*\*\*\* 慶應義塾大学環境情報学部

被も豊かな広い緑地で、越冬期の個体数が多くなることなどを示した<sup>5)</sup>。

これらの既往研究は、都市のマトリクスにある住宅の庭や小規模樹林地が、鳥類の生息の場としてある程度は機能し得ることを示唆する。より広域的に見ても、庭における植栽のあり方が一帯の鳥類相に影響を及ぼし得ることや<sup>27)</sup>、庭や小規模樹林地を相互に連携させて整備、管理することで、地域の生物多様性の保全にも寄与し得ることが指摘されている<sup>35)</sup>。ただ、研究例が少ないため、具体的にどのような形で質の向上を図り得るか判断する材料が乏しい。とりわけ0.1ha未満の小規模樹林地を対象とした研究は、上述のボストンにおける事例<sup>37)</sup>の他には見当たらない。

本研究では、東京都内と近郊のマトリクス空間のモザイクを構成する小規模樹林地の鳥類相が、より大規模な樹林地に対してどの程度の種を含んでおり、どのような環境条件に対応して種組成が変化するかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### (1) 調査対象地

加藤と吉田<sup>29)</sup>が調査した樹冠被覆面積5ha以上のパッチ状樹林地(東京都内9箇所、千葉県内4箇所、表-1)は、近隣(境界から2km以内)にそれよりも大面積の樹林地を伴わないことから、それを含むランドスケープにおいて核となる樹林地と定義した。その近隣にある、高木の樹冠による植被(以下、高木被覆)により直上を覆われた空間を小規模樹林地と見なして調査対象とした。対象とした小規模樹林地の核となる樹林地の境界からの距離は0.02~1kmとしたが、範囲内に適当な樹林地を十分に見いだせなかった9例については最大で1.6kmまで範囲を広げた。東京都内と千葉県内とで小規模樹林地の総数を近づけるため、東京都内については核となる樹林地あたり7箇所、千葉県内については同18箇所の小規模樹林地を選び、それぞれに1つの調査区を設定した。調査開始後に建設工事や植栽管理などにより調査を実施できなくなった地点は分析から除外した。調査を完了した小規模樹林地の数と概要を、核となる樹林地ごとに表-1に示した。

調査区は、鳥類個体の視認性を確保し、また区内の空間の不均一性をできるだけ抑えるため、通常の定点センサスよりも狭い半径20mの円形とし、高木被覆を完全に含むか、高木被覆の中に完全に含まれるように設定した。調査の妨げとなる障害物等が避けられない場合には、面積を保ちながら適宜変形させた。調査区相互は、直線距離で100m以上離れるようにした。100m以内に面積が同等かそれ以上の別の小規模樹林地が存在していた場合もあった。千葉県内の調査範囲内には、高木被覆面積が2haを超える樹林地が若干あったが、これらは調査対象外とした。個人の家の庭や立ち入りが禁止されている場所も調査対象外とした。調査区が設定された場所の高木被覆面積(調査区の外にまで高木被覆が連続して広がっている場合にはそれに覆われる部分も含み、同一の敷地内でも高木の樹冠に覆われていない場所は含まない面積)は、最小で50㎡、最大で1.9ha、平均0.33haであり、全125箇所の調査区のうち高木被覆面積が0.5ha未満のものは103箇所、このうち0.1ha未満のものは54箇所であった。

### (2) 現地調査

各調査区において、鳥類を対象とした定点センサスを実施した。調査区内で10分間に出現し、調査区内で目視ないし鳴き声により確認された鳥類の種名と個体数を記録した。範囲内および周囲を適宜移動し、見落としの軽減と位置が不明瞭な個体の確認に努めた。調査は2007年2月(越冬期)または同年5月(繁殖期)に、越冬期には7時半から15時までの間に、繁殖期には日の出から正午までの間に行った。雨天、強風など悪条件下での調査は行わなかった。越冬期の調査は各調査区2回、繁殖期の調査は同1回と

表-1 周囲に調査区を設定した大面積のパッチ状樹林地の一覧

樹林地名	樹林地 面積(ha)	周囲1000m内の土地被覆比率(%)			小規模樹林地 数	小規模樹林地 面積(ha) (平均と範囲)	1000m内 NDVI
		水域	農耕地 -草地	樹林地			
東村山中央公園	8.05	2	13	5	80	7.033(0.005-1.8)	-0.228
田無試験地 <sup>(注1)</sup>	7.67	0	15	5	79	7.031(0.005-1.3)	-0.235
赤塚公園城趾地区	5.10	0	5	9	86	6.012(0.01-0.22)	-0.268
サンシティの緑地	7.98	0	2	6	91	7.024(0.07-0.57)	-0.312
飛鳥山公園	6.63	1	2	5	93	6.029(0.02-0.98)	-0.324
芦花公園	6.80	0	6	7	87	6.010(0.03-0.25)	-0.257
羽根木公園	6.05	0	1	3	95	6.027(0.06-0.84)	-0.308
有栖川宮記念公園	5.15	1	2	8	90	6.025(0.005-0.9)	-0.309
猿江恩賜公園	6.38	4	0	2	93	6.006(0.01-0.18)	-0.365
船橋市藤原の樹林地	8.08	0	23	29	47	15.049(0.005-1.9)	-0.070
緑地植物実験所 <sup>(注2)</sup>	5.33	2	33	8	56	18.024(0.01-1.9)	-0.136
園生市民の森	6.42	1	12	12	75	16.026(0.02-0.8)	-0.214
泉谷公園	6.77	0	18	10	71	18.042(0.005-1.9)	-0.175

注1 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林田無試験地(当時)  
注2 東京大学大学院農学生命科学研究科附属緑地植物実験所(当時)  
点線より上は東京都内、下は千葉県内の樹林地を示す。

した。小規模樹林地を巡回する際は、調査時間を最も節約できるように設定した。調査時間帯の違いが結果に及ぼす影響を緩和するため、繁殖期の場合は調査開始時刻を分析の際の検討項目に加えた。本研究は個々の調査区における種組成を完全に把握することを目的とはせず、多様な条件の調査区において鳥類相と環境条件との対応関係を分析することを目的とするため、鳥類調査を回復して個々の調査区における精度を向上させるよりも、調査区の数を増やしてサンプル数を増加させることが、研究の目的にかなっていると判断されたことと、繁殖期のほうが越冬期よりも鳥類の移動が少なく回復の必要性が小さいと考えられることから、この回数を設定した。鳥類調査とあわせて、調査区内の植被率を、8m以上(高木層)、2~8m(亜高木層)、0.5~2m(低木層)、0.5m未満(草本層)に分けて目測にて記録した。この値を、上下2階層ずつ平均して、上層植被率、下層植被率として分析に用いた。また、地表を被覆するものにより、地表の状況を、舗装された地表、芝生に覆われた地表、土または砂の地表、砂利や小石に覆われた地表に区分し、各区分が調査区全体に占める割合を目測で記録した。

各調査区について、調査区を覆う樹冠が調査区外も含めてどの程度の広がりをもつかを、アルプス社の地図ソフトウェア「プロアトラス航空写真II/W3」収録の空中写真(2002年10月撮影)から、同ソフトウェアの面積計測機能を利用して計測した。但し千葉県内の一部の調査区については空中写真が収録されていなかったため、2009年3月にその時点でのGoogle Mapの空中写真から樹冠の位置を読み取り、「プロアトラス航空写真II/W3」で同じ場所の地図上に投影した上で面積を測定した。

### (3) データ解析

都市の内部や近傍の鳥類相は、出現地点がより限られる種の出現域は、出現地点がより限定されない種の出現域に含まれるという、入れ子構造を示すことが知られている<sup>24)</sup>。一般的に生物の種多様性は、都市化傾度に沿って一山型の変化を示し、中程度の都市化において種多様性が最大になるとされる<sup>1)</sup>。しかし都市の近傍だけを取り出した場合には、都市化傾度のうち中程度よりも都市に近い側しか見ることができない<sup>24)</sup>。そのため上述のような入れ子構造が認められる。

ところが東京、およびその周辺を対象とした場合、この入れ子構造は完全な形では現れない<sup>24)</sup>。というのは、都市化による環境変化に対して脆弱な種(都市忌避種)や都市化による環境変化に耐性を持つ種(都市適応種)だけでなく、人工的に改変された空間を好んで利用する種、すなわち都市利用種がいるからである<sup>1)26)30)</sup>。スズメ、ドバトや<sup>21)</sup>ムクドリ、ハクセキレイなどがこのような傾向を示すとされる<sup>22)</sup>。こうした状況下で、単純に種数を指標とした場合には、都市化に伴う鳥類群集の変化を正確に把握できない可能性が生じる。

上述した都市化に対する反応に基づく鳥類のグループを利用し、

グループごとの種数を指標とするやり方も使われてきた。ただ、これを用いるだけでは都市化以外の環境変化に対する鳥類群集の応答がうまく検出できない可能性が残る。また研究例が少なく、環境要因が十分に把握されているとは言い難い小規模樹林地の鳥類相の分析に用いるには、最適とは言えない。

本研究では、都市化に対する反応に基づく鳥類のグループを参照しつつ、序列化手法によって調査対象地における鳥類の群集傾向を見つけ出し、見出された群集傾向がどのような環境条件によって説明できるかを検討するというアプローチを採用した。調査区×種のデータセットを対象としたDCA<sup>15)</sup>により得られた各軸のサンプルスコアと調査区の環境条件とを対比させて、どのような環境条件がサンプルスコア、すなわち小規模樹林地の鳥類群集における群集傾向に関与しているかを推定した。対応分析に由来する分析は出現頻度が低い種の影響を強く受けるため<sup>12)</sup>、3つ以上の調査区で出現した種のみを分析の対象とした。なお、DCAにより得られた各軸が持つ説明力は、寄与率では表現することができない。これは、DCAの計算の過程にある detrending と rescaling の操作により、純粋な行列計算から逸脱してしまうからである。代わりに計算されるのが、もとの類似度行列が、DCAにより得られた序列化空間においてどの程度再現されるかを決定係数により示す指標であり<sup>28)</sup>、DCAにおける寄与率にあたる。以下本論文では、この値を寄与率と見なした。DCAに関する計算は、PC-ORD 6.0<sup>29)</sup>により行った。

本研究では、環境条件を大きく2種類に分けた。一つは、個々の調査区、すなわち小規模樹林地に関わる属性である。空中写真から計測された樹冠被覆面積と、現地で記録された階層別植被率（上層、下層）、種類別地表被覆率（舗装地、芝生地、土または砂地、砂利・小石被覆地）がこれにあたる。核となる樹林地までの距離も、個々の調査区の属性とみなした。

もう一つは、より広域的な条件である。核となる樹林地の外縁から1km以内の植被の状況を、同じ範囲内における正規化差植生指数NDVIの平均値によって指標した。ALOS衛星画像（撮影：2006年8月5日）に基づいて、核となる樹林地の外縁から1kmの範囲におけるNDVIの平均値を算出した。NDVIは植被地において高い値をとり、市街地や裸地では低い値をとることから、観察対象地を含む広域的な環境を指標するのに適していると考えられる<sup>18)</sup>。

加えて、核となる樹林地の外縁から1km以内の土地利用状況を、空中写真から判読した。国土地理院発行の数値地図2500を参照として、対象樹林地とその周辺の空中写真（2004～2006年撮影）を幾何補正した。その上で、範囲内の土地被覆を判読し、連続する土地被覆をポリゴンとして登録した上で個々の面積を測定した結果を用い、土地被覆の構成比を人工地、農耕地・草地、樹林地、水域の4つに分けて算出した。道路、鉄道、墓地、駐車場のような道路以外の舗装地と建築物、人為的な裸地を人工地に、農耕地(休耕地を含む)、芝生、草地を農耕地・草地に、河川、池、人工水域を水域に、樹林地(公園内のものも含む)、果樹園を樹林地に分類した。これは、鳥類を樹林地性、草地性、水辺性に分けた場合に、それぞれのグループが利用する可能性が高い空間と、どのグループも好まないであろう空間を、それぞれまとめたものである。ランドスケープスケールの解析を念頭に置いてパッチ状樹林地から外側に向かっての空間変化の様相が報告されている事例<sup>8)</sup>、特に本研究と対象地の重複が多い事例<sup>23)</sup>においては、1km以遠では5km(当該事例で取り上げられた最大値)まで大きな変化がないとされている。これを踏まえ、核となる樹林地の外縁から原則として1km以内に設定した小規模樹林地をカバーできる範囲として1km圏を設定した。以上の衛星画像および空中写真に関する作業は、ArcGIS ver.8.1とそのエクステンション(ESRI

Inc.)を用いて行った。

空間スケールが異なるデータを同時にモデル化するため、本研究では階層線形モデルを利用した<sup>25)26)33)</sup>。DCAにより得られたサンプルスコアを応答変数とし、下位の説明変数として調査区ごとに計測された環境条件を、上位の説明変数として核となる樹林地ごとに計測された環境条件を、それぞれ用いた。計算は、HLM 6<sup>34)</sup>により行った。

### 3. 結果

#### (1) 概要

調査において、越冬期には33種、繁殖期には22種が記録された(水鳥類を除く)。記録された種を、調査区がおかれた樹林地の面積別、および核となる樹林地の所在地別に整理した結果を、都市化に対する反応に基づく鳥類種の区分<sup>26)</sup>ごとに表-2に示した。都市利用種や都市適応種に区分される種は、樹林地面積や樹林地の所在地にかかわらず広く見られたのに対し、都市忌避種については、小面積の樹林地よりも大面積の樹林地で、東京都の樹林地よりも千葉県側の樹林地で、それぞれ多くの種が見られた。但しこの傾向は、繁殖期では越冬期ほど顕著ではなかった。また、千葉県の高木被覆面積0.1ha未満の樹林地と、東京都のより大きな樹林地(同0.1～2ha)では、出現種数はほぼ同じだった<sup>補註</sup>。

#### (2) DCA

上位3軸の寄与率は、越冬期で0.36, 0.13, 0.07、繁殖期で0.27, 0.16, 0.11だった。本研究では上位2軸を解析対象とした。

越冬期の第1軸については、正の側にドバト、スズメ、ムクドリ、ハクセキレイと都市利用種に位置づけられた種<sup>26)</sup>が位置した。ヒヨドリ、オナガ、ハシブトガラス、シジュウカラなど都市適応種とされた種がこれに続き、負の側にはヤマガラ、カケス、アオゲラ、シロハラ、エナガ、アカハラ、アオジなど、都市忌避種とされた種が位置した。このことから、第1軸は東京やその周辺で多くの既往研究により認識されている都市化傾度に対応する軸と

表-2 記録された種(左:越冬期、右:繁殖期)

	東京都		千葉県			東京都		千葉県	
	小	大	小	大		小	大	小	大
(都市利用種)					(都市利用種)				
スズメ	●	●	●	●	スズメ	●	●	●	●
ドバト	●	●	●	●	ムクドリ	●	●	●	●
ムクドリ	●	●	●	●	ドバト	●	●	●	●
ハクセキレイ	△	●	●	●	ツバメ	●	○	●	●
(都市適応種)					ハクセキレイ	△	△	●	△
ヒヨドリ	●	●	●	●	(都市適応種)				
シジュウカラ	●	●	●	●	ヒヨドリ	●	●	●	●
メジロ	●	●	●	●	ハシブトガラス	●	●	●	●
ハシブトガラス	●	●	●	●	シジュウカラ	●	●	●	●
キジバト	●	●	●	●	キジバト	●	●	●	●
ツグミ	●	●	●	●	カワラヒワ	△	△	●	●
カワラヒワ	△	●	●	●	オナガ	●	○	△	
オナガ	△	●	○	△	(都市忌避種)				
(都市忌避種)					メジロ <sup>注</sup>	●	●	●	●
コゲラ	○	●	●	●	コゲラ	△	●	△	●
アオジ	○	●	●	●	ハシブトガラス	○	●	●	●
アカハラ	△	△	●	●	ウグイス	●	●	●	●
シメ	△	○	●	●	メボソムシクイ	○	●	●	●
シロハラ	○	○	●	●	エナガ	●	●	△	△
ウグイス	△	△	●	●	ワカケホンセイインコ	△	●	●	●
エナガ	△	△	●	●	キビタキ	●	●	●	△
ハシブトガラス	△	●	●	●	センダイムシクイ	●	●	△	△
ヤマガラ	△	●	●	●	キジ	●	●	△	△
ジョウビタキ	△	●	●	●	コジュケイ	●	●	●	●
カケス	●	●	●	●	調査区数	27	31	27	40
アオゲラ	△	△	●	●	<small>注:メジロは繁殖期には都市忌避種とされる(加藤 2009)。種の区分は、加藤・吉田(2011)に基づく。</small>				
コジュケイ	△	○	○	○	<small>△ 1地点でのみ記録された種</small>				
ルリビタキ	○	○	○	○	<small>○ 2地点でのみ記録された種</small>				
ウソ	△	△	△	△	<small>● 3地点以上で記録された種</small>				
ワカケホンセイインコ	△	△	△	△	調査区を、東京都におかれたものと千葉県におかれたものに分け、それぞれを樹冠被覆面積0.1haを境に大小に分けたうえで、各区分の調査区で記録された種を示した。種は、それぞれの時期での出現調査区数の降順に並べた。				
タヒバリ	△	△	△	△	<small>種の区分は、加藤・吉田(2011)に基づく。</small>				
オオタカ	△	△	△	△	<small>△ 1地点でのみ記録された種</small>				
セグロセキレイ	△	△	△	△	<small>○ 2地点でのみ記録された種</small>				
ホオジロ	△	△	△	△	<small>● 3地点以上で記録された種</small>				
調査区数	27	31	27	40					

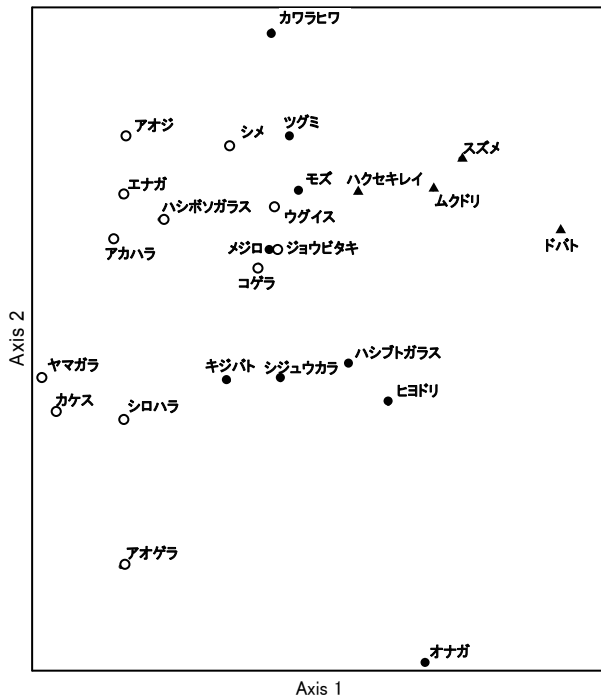


図-1 DCA で得られた鳥類種の布置図 (越冬期)

○:都市忌避種、●:都市適応種、▲:都市利用種、種の区分は加藤・吉田(2011)に基づく。判断できる (図-1)。

第2軸は、正の側にカワラヒワが位置し、アオジ、シメ、ツグミがこれに続いた。負の側にはオナガ、アオゲラ、ヒヨドリ、シロハラ、カケスなどが位置づけられた。農耕地や芝生地、樹林地内でも開けた林床など、開けた空間でよく活動する種が正に、そうでない種が負に位置づけられたと考えられる。

繁殖期では、第1軸の正の側に都市利用種のドバト、スズメが位置づけられ、都市利用種のムクドリ、ハクセキレイ、ツバメと、都市適応種とされたオナガ、カワラヒワ、ヒヨドリ、キジバト、ハシブトガラス、シジュウカラなどがこれに続いた。負の側にはハシボソガラス、コゲラ、ウグイス、メジロと、繁殖期に都市忌避種とされた種が位置した。このことから、繁殖期における第1軸もやはり、東京やその周辺で多くの既往研究により認識されている都市化傾度に対応する軸と判断できる (図-2)。

第2軸は、負の側にオナガ、カワラヒワ、ツバメ、ムクドリが、正の側にはハシブトガラス、ハクセキレイ、シジュウカラ、コゲラ、メジロが位置づけられた (図-2)。林外の空間を好む種が負に、ハクセキレイを除き樹木が多い空間を好む種が正に位置づけられたと考えられる。越冬期の第2軸と比べ、より大きなスケール

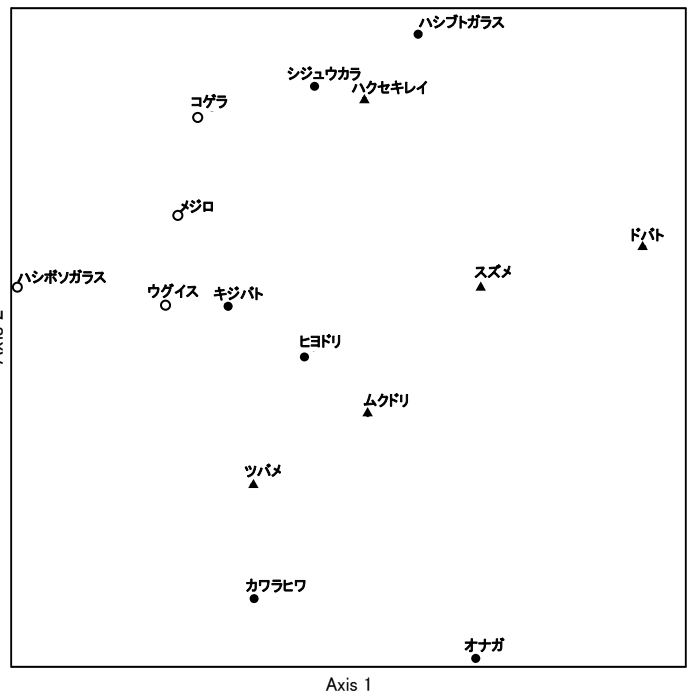


図-2 DCA で得られた鳥類種の布置図 (繁殖期)

○:都市忌避種、●:都市適応種、▲:都市利用種、種の区分は加藤・吉田(2011)に基づく。

ルでの空間選好性を反映しており、周辺の農耕地などから小規模樹林地に入り込んで記録されることが多かった種は負のスコアを、そうでない種は正のスコアを示したと判断した。

### (3) 階層線形モデル

結果を表-3に示した。都市化傾度に対応する第1軸は、越冬期、繁殖期共にパッチ面積と上層植被率によってよく説明された。越冬期には、核となる樹林地からの距離、周囲1km以内のNDVIも関与したが、繁殖期にはそうならなかった。越冬期における鳥の分布が、個々のパッチ状樹林地の周囲の状況にかなり影響されるのに対し、繁殖期における鳥の分布は、個々の樹林地の状況には影響されるが周囲の状況には影響されにくいことが示唆されていると思われる。なお、調査開始時刻は説明変数として選択されず、強制的に投入した場合も有意にはならなかった( $P>0.1$ )。

第1軸のスコアに対して核となる樹林地からの距離が影響を与える様子を確認するために、これを説明変数から除き、樹林地面積、上層植被率、NDVIのみを説明変数とする階層線形モデルを構築した。このモデルの中のランダム変数は、説明変数から除外された核となる樹林地からの距離の効果も反映するため、係数値はそのままランダム変数を除いたモデルを想定し、説明変数の実測値を代入して調査区ごとにDCAスコアの予測値を求めた。この値は、DCA第1軸のスコアから、樹林地面積、上層植被率、NDVIの効果を除いたものとなる。これと、核となる樹林地からの距離との関係を散布図で表したのが図-3である。右上がりのプロットから、核となる樹林地からの距離がDCAスコアに正に影響していることがわかるが、同時に、距離が大きくなってもスコアが増大しないケースがあることから、なお考慮されていない要因により鳥類の種組成が制約されている可能性があることが示唆される。

種のスコアからは、越冬期の第2軸は、開けた場所か、それとも樹冠が多い場所かに対応すると思われる。越冬期の第2軸スコアは上層植被率(係数は負)と芝生被覆率(係数は正)で説明され、上述の解釈が正しいことが裏付けられた。繁殖期の第2軸は、周囲に開放地(農耕地、草地)が多いとスコアが小さくなることを示すモデルになり、パッチの属性を示す変数はモデルに含まれな

表-3 階層線形モデルの結果

	越冬期		繁殖期	
	第1軸	第2軸	第1軸	第2軸
<b>調査区ごとに値が与えられる変数</b>				
樹林地面積(対数)	-25.0 ***		-18.7 *	
核となる樹林地からの距離	45.3 **			
上層植被率	-80.8 ***	-77.1 ***	-58.2 *	
芝生被覆率		25.5 *		
<b>核となる樹林地ごとに値が与えられる変数</b>				
NDVI1km	-458 ***			
農耕地・草地面積率				-139 **
<b>モデルのあてはまりの良さを示す尺度</b>				
$R^2$	0.49	0.26	0.16	0.21

\*, \*\*, \*\*\*は、それぞれが付された数値について  $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ,  $P<0.001$  であることを示す。

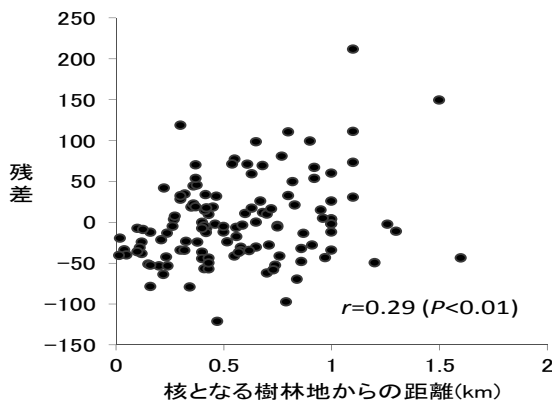


図-3 越冬期DCA第1軸スコアについて、樹林地面積、上層植被率、NDVIのみを用いて構築された階層線形モデルによる予測値と実際の値との差(残差)と、核となる樹林地からの距離の関係

った。これは、周囲の開けた場所から何らかの理由で進入した種が相対的に高い割合で記録された調査区とそうでない調査区が第2軸で分離されたため、パッチの属性よりもパッチ周囲の状況がスコアを左右したことを示唆すると考えられた。

#### 4. 考察

##### (1) 小規模樹林地の鳥類群集

越冬期、繁殖期ともに、小規模樹林地の鳥類群集は樹林地面積の影響を強く受けた(表-3)。但し、東京都の0.1ha~2haの樹林地と千葉県0.1ha未満の樹林地とでは、出現種の構成は大きくは変わらなかった(表-2)。小規模樹林地は鳥類が全く飛来しない空間なのではなく、それを取り巻く景観の状況次第では、すなわち周囲の都市化の程度が小さく、景観に占める樹林地やその他の植被地の割合が高い場合には、小規模樹林地により多くの鳥類種が訪れる可能性はあると考えられる。より大面積のパッチ状樹林地については、個々の樹林地の鳥類相が、こうした景観スケールの状況に影響されることを示した研究は多く<sup>39)</sup>、本研究は、小規模樹林地でもこの効果が、特に越冬期において顕著であることを示したといえる。

本研究では、小規模樹林地の生息場所としての質を規定する要因は、より大規模なパッチ状生息場所の場合と一部を除き共通していた。高木被覆面積、植生構造、近隣の都市化の程度、近隣における農耕地や草地の面積、大規模パッチからの距離が、要因として抽出されたが、これらはいずれも過去により大規模なパッチ状生息地について報告されていたものである<sup>39)</sup>。

植生構造に関しては、いくつかの先行研究が都市内のパッチ状樹林地の鳥類相に強く影響するとして下層植生の植被率は、本研究では鳥類相を規定する要因として抽出されなかった。加藤による東京都文京区での研究例は、高木被覆面積が1-2haかそれ以上あるときに、下層植生によって鳥類相や鳥類種数に違いが生じることを示しており<sup>21)</sup>、今回の研究で対象としたそれに満たない面積のパッチ状樹林地では、下層植生を発達させることで鳥類種数増加する効果が期待できない可能性も考えられる。

##### (2) ランドスケープスケールの要因は越冬期と繁殖期で同様に働くのか

本研究では、都市化傾度に対応した種組成の変化を説明する要因として、核となる樹林地からの距離と、1km範囲内のNDVIの2つが越冬期に限って抽出された。この点について以下に考察する。

一般に鳥類は、同じ場所であっても繁殖期と越冬期とで種組成が異なる。本研究の対象地である東京やその近郊においては、越冬期には冬鳥として飛来する多くの種が鳥類群集に加わるのに対

し、繁殖期に飛来して繁殖する夏鳥の種類は少なくほぼ留鳥のみが記録されるため、越冬期においてより多くの種が記録されると報告されている<sup>38)</sup>。両時期の間で種構成が大きく異なるため、種組成や種多様性に影響する要因の種類や影響のしかたもまた異なっている不思議ではない。都市の小規模緑地を調査したCarbó-RamírezとZuriaも、繁殖期と越冬期の鳥類種数について上と同様の見解を示した上で、両時期の間で鳥類の分布パターンは異なるけれど、この点に着目した既往研究はほとんどない、としている<sup>5)</sup>。とはいえ、彼らもまた、両時期の間で違いが生じる理由については詳細な議論をしていない。

一つ考えられる理由は、両時期の間での鳥類の移動性の違いである。越冬期は、人為的に供給される食物を除けば、一般的に食物が少ない時期と考えられる。そのため、越冬期に十分な食物を得るためには、他の時期よりも広い範囲で食物を探す必要が生じる。食物が少ない時期や場所で、鳥類の行動圏が拡大することは、都市域では研究例が見当たらないが、それ以外では、ヨーロッパオオライチョウの行動圏と食物のブルーベリーの量の関係について<sup>36)</sup>、冬季における猛禽類や<sup>14)</sup>オナガの<sup>20)</sup>行動圏の拡大について、既報がある。越冬個体にとっては、個々のパッチの質だけでなく、近隣一帯での食物の入手可能性、すなわち食物を供給し得るパッチの面積とパッチ間の移動可能性が重要だと考えられる。

繁殖期には食物が豊富になり、より狭い空間で必要な食物を充足できる一方、営巣、育雛のため巣の近隣に居続ける必要性が高くなるため、一般に行動圏は狭くなる<sup>40)</sup>。このため、景観スケールの要因の重要度が下がるものと考えられる。むしろ、個々のパッチが繁殖に必要な条件を満たしている場合には、今度は繁殖個体群によるメタ個体群の形成と維持の可能性が重要になる。より大面積のパッチを対象とした研究では、繁殖期においても景観スケールの要因、特にパッチ間の連結性が重要になることは十分にあり得る。

なお本研究では、核となる樹林地ごとにその周囲1km範囲内の状況から、ランドスケープのありかたを評価した。個々の小規模樹林地の境界や近隣の状況が小規模樹林地内の鳥類に影響する可能性については検証できていない。この点には留意する必要がある。

種によっては、樹林とその周辺の農耕地や草地をともに利用しながら生活するものもある。営巣は林縁、採食は周囲の開放地で行う林縁性の種では、繁殖期においても周囲の農耕地や草地に食物を依存し得る。例えば林縁性で<sup>11)</sup>種子食者として知られる<sup>32)</sup>カワラヒワの場合、繁殖期には周辺の草地や農耕地でイネ科の草本植物が結実するため、そこに食物を依存する程度が高まると考えられる。オナガも、住宅地など疎林的な環境で繁殖することが知られている<sup>16)</sup>。この2種が多いところでは繁殖期のDCA第2軸のスコアは小さくなり、かつこのスコアは1km内の農耕地・草地率と負の相関を示す、つまり、農耕地や草地が周辺に多い場所ではカワラヒワやオナガが多くなる傾向があった、という本研究の結果は、以上の議論と矛盾しない。

##### (3) 結論

都市域には大規模樹林地よりも多くの数の小規模樹林地があるが、小規模樹林地を対象として、鳥類の種組成に影響する環境条件を検討した事例はまだ少ない。本研究では、東京都内と近郊の小規模樹林地で記録された鳥類の種組成を分析し、以下の結論を得た。1) 小規模樹林地では、都市忌避種とされる種が出現しにくい、面積の増大や植生の状況の改善、近隣の空間における植被の増加により、その種組成をより大面積の樹林地のものに近づけ得る。2) 小規模樹林地においては、大面積の樹林地で報告されているような、下層植生の発達や鳥類種数の増加をもたらす効果が期待できない可能性がある。3) 景観スケールの要因の重要

性は、越冬期と繁殖期とで異なる可能性がある。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、当時の東京大学大学院農学生命科学研究科附属緑地植物実験所の伊藤浩二、今井絢子、土田啄水、本田裕紀郎、三高隼人、宮正彦、宮井遼平の各氏、ならびに田中雅宏氏より、多大なご助力を賜った。ここに記してあらためてお礼を申し上げる。また、本研究の実施に係り科学研究費補助金（基盤研究(B)、代表：加藤和弘、課題番号18380020）による助成をいただいたことに対し、関係各位に謝意を表する。

## 補注

4 区分の間で調査区数が不揃いなため、調査区が27よりも多い2区分について、ランダムに27調査区を取り出し種数を求める操作を500回繰り返し、種数の平均値を計算した。越冬期の推定種数は、表の左から順に17、21.1、25、28.3となり、繁殖期には13、15.6、15、16.4となった(PC-ORD 6.0<sup>29</sup>)により計算。

## 引用文献

- 1) Blair R. B. (1996): Land use and avian species diversity along an urban gradient: *Ecological Applications* 6, 506-519
- 2) Blake J. G. & Karr J. R. (1987): Breeding birds of isolated woodlots: area and habitat relationships: *Ecology* 68, 1724-1734
- 3) Burel F. & Baudry J. (2004): *Landscape Ecology: Concepts, Methods, and Applications*: Science Publisher, Enfield, 362pp.
- 4) Cannon A. (1999): The significance of private gardens for bird conservation: *Bird Conservation International* 9, 287-297
- 5) Carbó-Ramírez P. & Zuria I. (2011): The value of small urban greenspaces for birds in a Mexican city: *Landscape and Urban Planning* 100, 213-222
- 6) Castellon T.D. & Sieving K.E. (2006): An experimental test of matrix permeability and corridor use by an endemic understory bird: *Conservation Biology* 20: 135-145
- 7) Chamberlain D.E., Cannon A.R. & Toms M.P. (2004): Associations of garden birds with gradients in garden habitat and local habitat: *Ecography* 27, 589-600
- 8) Dunford W. & Freemark K. (2004): Matrix matters: effects of surrounding land uses on forest birds near Ottawa, Canada: *Landscape Ecology* 20, 497-511
- 9) Fernández-Juricic E. (2004): Spatial and temporal analysis of the distribution of forest specialists in an urban-fragmented landscape (Madrid, Spain): Implications for local and regional bird conservation: *Landscape and Urban Planning* 69, 17-32
- 10) Forman, R.T.T. & Godron, M. (1986): *Landscape Ecology*. Wiley, New York, 644pp.
- 11) 藤巻裕蔵(1996): 北海道中部・南東部におけるカララヒワとマヒワの生息状況: 帯広畜産大学研究報告 20, 41-47
- 12) Gauch H.G. (1982): *Multivariate Analysis in Community Ecology*: Cambridge University Press, New York, 298pp.
- 13) Guevara S. & Laborde J. (1993): Monitoring seed dispersal at isolated standing trees in tropical pastures: consequence for local species availability: *Vegetatio* 107/108, 319-338
- 14) Haworth P.F., McGrady M.J., Philip Whitfield D., Fielding A.H. & McLeod D.R.A. (2006): Ranging distance of resident Golden Eagles *Aquila chrysaetos* in western Scotland according to season and breeding status: *Bird Study* 53, 265-273
- 15) Hill M. O. & Gauch H. G. (1980): Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique: *Vegetatio* 42, 47-58
- 16) 細野哲夫(1969): オナガの生活史に関する研究(6) 長野県内における分布と移動: 山階鳥類研究所報告 5, 659-675
- 17) 一ノ瀬友博・加藤和弘(2003): 都市域の小規模樹林地と都市公園における越冬期の鳥類の分布に影響する要因: *ランドスケープ研究* 66, 631-634
- 18) 一ノ瀬友博 (2006): 大阪市中心部の街路樹と越冬期の鳥類の出現状況の関係: *ランドスケープ研究* 69(5), 537-540
- 19) Ikin K., Beaty R.M., Lindenmayer D.B., Knight E., Fischer J. & Manning A.D. (2013): Pocket parks in a compact city: how do birds respond to increasing residential density? *Landscape Ecology* 28, 45-56
- 20) 今西貞夫(2002): 非繁殖期のオナガ *Cyanopica cyana* の群れの行動圏と群れサイズの地域間の比較: *日本鳥学会誌* 51, 62-73
- 21) 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
- 22) 加藤和弘 (2005): *都市のみどり*と鳥: 朝倉書店, 122pp.
- 23) Katoh K. & Takahashi T. (2009): Can the width of the surrounding area that influences within-patch species richness in urban habitat patches be estimated using regression model comparison? *Journal of Environmental Information Sciences* 37(5), 31-40
- 24) 加藤和弘(2010): 都市の樹林地における鳥類の生息を規定する要因: *都市計画* 59(5), 58-61
- 25) 加藤和弘・鶴川健也 (2010): 景観生態学研究における階層線形モデルの有用性の検討: *ランドスケープ研究* 73, 763-766
- 26) 加藤和弘・吉田亮一郎(2011): 都市樹林地における鳥類群集と樹林地周辺の土地被覆との関係: *ランドスケープ研究* 74, 507-510
- 27) Leaman S.B. & Warren P.S. (2011): The conservation value of residential yards: linking birds and people: *Ecological Applications* 21, 1327-1339
- 28) McCune B., Grace J. B. & Urban D. L. (2002): *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design, Gleneden Beach, 300pp.
- 29) McCune, B. and Mefford, M. J. (2011) *PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 6.0*. MjM Software Design, Gleneden Beach
- 30) McKinney M.L. (2002): Urbanization, biodiversity and Conservation: *BioScience* 52, 883-890
- 31) 森本豪・加藤和弘(2005): 緑道による都市公園の連結が越冬期の鳥類分布に与える影響: *ランドスケープ研究* 68, 589-592
- 32) 中村登流・中村雅彦(1995): 原色日本野鳥生態図鑑《陸鳥編》: 保育社、大阪、301pp.
- 33) Raudenbush S.W. & Bryk A.S. (2002): *Hierarchical linear models: applications and data analysis methods* (2nd ed.): Sage Publications, 485pp.
- 34) Raudenbush S.W., Bryk A.S., Vheong Y.F., Congdon R. & du Toit M. (2004): *HLM6 Hierarchical Linear and Nonlinear Modeling*: Scientific Software International Inc., Lincolnwood, 306pp.
- 35) Smith A.C., Francis M. & Fahrig L. (2014): Similar effects of residential and non-residential vegetation on bird diversity in suburban neighbourhoods: *Urban Ecosystems* 17, 27-44
- 36) Storch, I. (1995): Annual home ranges and spacing patterns of capercaillie in central Europe: *Journal of Wildlife Management* 59, 392-400
- 37) Strahbach M.W., Lerman, S.B. & Warren, P.S. (2013): Are small greening areas enhancing bird diversity? Insights from community-driven greening projects in Boston. *Landscape and Urban Planning* 114, 69-79
- 38) 鶴川健也・加藤和弘(2006): 都市域の中・大規模樹林地における鳥類の種多様性と立地環境との関係: *ランドスケープ研究* 69(5), 533-536
- 39) 鶴川健也・加藤和弘(2007): 都市の鳥類群集に影響する要因に関する研究の現状と課題: *ランドスケープ研究* 71(3), 299-308
- 40) Wiklander U, Olsson O. & Nilsson S.G. (2001): Seasonal variation in home-range size, and habitat area requirement of the lesser spotted woodpecker (*Dendrocopos minor*) in southern Sweden: *Biological Conservation* 100, 387-396