

パッチ状樹林地の境界を越えて移動する鳥類の種組成とパッチ外周の土地被覆との関係

Relationship between species composition of birds crossing over boundaries of patchy woodlands and surrounding landcover

加藤 和弘* 神山 高義**

Kazuhiro KATOH Takayoshi KAMIYAMA

Abstract: Recent studies have indicated that conditions of surrounding landscape matrix around a habitat patch can influence avian community in the patch. This fact suggests the importance of the permeability of habitat boundaries for bird individuals. In this study species composition of birds in and around woodland patches and that of birds crossing over the woodland boundaries were surveyed in urban or suburban landscapes in central Japan. The results were as follows. 1) In suburban landscapes urban avoider species are not likely to cross woodland patch boundaries while urban adapter species are. 2) In urban landscapes urban exploiter species and two corbid species tend to cross woodland boundaries while the other species do not. 3) Species composition of birds crossing a woodland boundary varies with vegetation structure and abundance of buildings outside the boundary. We conclude that land cover outside a woodland patch can influence the movement of bird individuals across the boundary and therefore the utility of landscape matrix for them. If we want to improve biodiversity within a landscape through increasing of habitat connectivity we should also consider permeability of habitat boundaries.

Keywords: avian community, boundary, habitat patch, permeability, species composition

キーワード: 鳥類群集, 境界, 生息場所パッチ, 透過性, 種組成

1. 研究の背景と目的

日本の都市内には、樹林地がパッチ状に存在し、都市における鳥類の生息の拠点となっている³⁰⁾。こうした樹林地における鳥類群集は、樹林地の面積が大きいほど⁹⁾、植生の垂直構造が発達しているほど²⁹⁾、緑道などにより連結されているほど³⁷⁾、あるいは近隣に同様な樹林地が多いほど、種多様性が高いとされる⁵¹⁾。

近年では、パッチ状樹林地の周辺に農地や草地が多いほうが、樹林地内の鳥類の種多様性が高まるとするなど³²⁾、生息地パッチを取り巻く空間のありかたによって生息地内の鳥類の生息状況が異なることが指摘されている⁵³⁾⁵⁵⁾。この理由として、まず、パッチを取り巻く空間が鳥類の移動路として機能しており、その質が変化することで外部への移動可能性が変化し得る可能性がある¹³⁾³⁸⁾。次に、樹林地を取り巻く空間が補助的な生息場所として機能しており、周辺の環境がパッチ内の鳥類にとっての資源利用可能性に影響するとも考えられる²⁵⁾。

一方、鳥類が生息地、特に樹林地の境界を越えて移動することを嫌うことは、複数の研究で示されている⁴⁰⁾³⁾¹²⁾⁵⁾²²⁾⁵⁷⁾。生息地パッチを取り巻く空間がパッチ内の鳥類の生息に果たす役割は、パッチの境界を越える移動の起こりやすさによって変化すると考えるのが自然である。

生息地の境界を越えて起こる移動については、主に森林と開放地の間でのものが研究されてきた。森林性の鳥類種は、連続した樹冠による被覆がない場所では移動しにくい⁶⁾ため、境界を越えた移動は起こりにくいという結果が繰り返し得られてきたが、この知見を都市のパッチ状の樹林地に当てはめてもよいのだろうか。

都市のパッチ状樹林地に生息する鳥類は、純粋に樹林性の種だけではない。そのため、むしろ境界を越えた移動を積極的に行う種があるかもしれない。

加えて、都市のパッチ状樹林地を取り巻く空間は不均一性が高い。Bender & Fahrig (2005)は、不均一性が高い場所で環境条件を粗い空間スケールで計測すると、実際の現象を適切に表現でき

ないことを指摘している⁸⁾。木立に隣接する場所、建築物が多くある場所、駐車場など開けた場所などで、境界を越えた移動の状況には違いがあっても不思議ではない。

都市のパッチ状樹林地の境界を越えて起こる鳥類の移動を把握した研究は、過去に例が少ない。Hodgson et al. (2007)は、オーストラリアのサウスウェールズ州で夏季に調査を行い、生息地の境界に外接する部分の住宅密度や植被の状態が鳥類の境界を越える移動率に影響すること、また採食ギルドごとにその影響は異なることを示した²⁵⁾。小川・加藤 (2010)は、東京の都心部の4樹林地で越冬期に調査を行い、落葉樹の存在が都市忌避種の移動を促すこと、常緑中低木の存在が都市適応種の移動を促すこと、建物の存在は移動を妨げることが指摘した⁴⁵⁾。とはいえ、前者は人口密度が低く自然の状態の空間が多く残る地域での事例であり、後者は逆に高度に都市化が進んだ地域のみで行われた事例である。

そこで本研究では、都市および近郊の樹林地パッチを対象として、その境界の外側に隣接する部分の植生や土地被覆が、樹林地の境界を越える鳥類の移動に与える影響を明らかにすることを試みた。都市だけでなく、周囲の空間の植生がより豊かな近郊の樹林地も対象とすることで、記録される鳥類種がより多様になるようにするとともに、周囲の植生の状態と境界を越えた移動の関係をより幅広く把握することを目指した。

2. 方法

(1) 調査地

東京都の小石川植物園、新宿御苑、羽根木公園、光が丘公園、千葉県北西部の東京大学緑地植物実験所(当時)、泉谷公園、埼玉県南西部の狭山稲荷山公園を対象とした(表-1)。樹林地面積が十分でないと出現する鳥類が限定されるため³⁰⁾、5ha以上の樹冠被覆面積を持つ樹林地を選んだ。なお、公園・緑地としての敷地外であっても、隣接する場所に樹冠が接する形で樹林地が広がっ

*東京大学大学院農学生命科学研究科

**サントリー酒類株式会社

表-1 調査対象樹林地

樹林地名	樹木被覆面積(ha)	調査区数	周辺土地利用構成比(%) ²⁾				最近隣の大規模樹林地 ³⁾		マトリクス内ロードサイドセンサス区間両側の主な土地利用
			樹林地	農耕地・草地	市街地・人工裸地	緑の多い住宅地	距離(km)	名称	
東京大学小石川植物園	12.1	6	0.9	0.0	85.1	13.2	1.1	豊島岡墓地他	低層住宅地
新宿御苑	36.6	5	4.1	0.9	77.0	17.3	0.5	代々木公園他	中高層市街地
羽根木公園	6.05	5	0.0	0.3	91.6	7.6	3.4	代々木公園他	低層住宅地
光が丘公園	33.9	5	0.8	9.1	72.0	18.1	1.4	大泉中央公園他	低層住宅地
東京大学緑地植物実験所	5.33	5	4.1	35.6	52.8	6.2	2.9	花鳥公園	低層住宅地
泉谷公園	6.77	5	18.7	15.0	59.2	7.0	1.3	残存樹林地	低層住宅地
狭山稲荷山公園	12.4	5	8.3	48.4	36.3	4.6	2.3	残存樹林地	低層住宅地

1)対象樹林地を含み樹冠が連続する部分の面積を空中写真から判読¹⁾³²⁾

2)「日本全国標準土地利用メッシュデータ」²⁾⁴⁴⁾(<http://www.nies.go.jp/biology/kiban/lu/index.html>)による

3)連続する樹冠被覆面積が10ha以上で、対象樹林地から最近隣のもの。「他」は複数の樹林地が連続している場合にそのうちの一つの名前を挙げたことを示す。ている場合には、その部分も面積に算入した。

対象樹林地周辺の状況を理解するため、独立行政法人国立環境研究所が公開している「日本全国標準土地利用メッシュデータ」²⁾⁴⁴⁾(<http://www.nies.go.jp/biology/kiban/lu/index.html>)を利用した。3次メッシュごとに土地利用別面積が示されている。樹林地自体の影響が現れないよう、対象樹林地を含む3次メッシュの外側に隣接する3次メッシュ全てについて土地利用面積を集計し、平均の構成比を求めた。これを、樹林地、農耕地・草地、市街地・人工裸地、緑の多い住宅地、水域にまとめた上で、水域以外の4つの値を表-1に示した。また、10ha以上の樹木被覆地のうち最近隣のものまでの距離を、Googleマップの空中写真を用いて計測し、表-1に示した。

(2) 鳥類調査

本研究は、都市の樹林地においても多くの鳥類種を確認できる越冬期⁵²⁾に行うこととし、2008年1月8日から3月12日にかけて行った。降水や降雪、強風の日には調査を行わなかった。1日に1ヶ所の樹林地で以下の3つの調査を行った。

1) 樹林地の境界における調査

樹林地の境界が道路に接している場所に5~6ヶ所の調査区を設けた。調査区は、樹林地の周囲にできるだけ均等に配置した。8時半~11時、11時~14時、14~16時の間に各調査区でそれぞれ1回の調査を行った。

調査区の長さは境界に沿って40mとし、幅は道路からパッチ側に3m、反対のマトリクス側も道路端から3mとした(図-1)。

調査時間は1調査区1回あたり10分間とし、その間に境界を横切って移動した個体、パッチ側の調査区で見つかった個体(境界を越えた個体は除く)、マトリクス側の調査区で見つかった個体(同)の種名、個体数を記録した。調査者は調査区の一方の端にいて、時々道路を移動し木や建物等の陰に入った個体の確認を行いつつ、8倍の双眼鏡を用いて観察した。上空通過の個体も計数の対象とした。

2) 樹林地内における調査

各樹林地の内部に3ヶ所の調査点を設け、そこから半径20mの円内に出現した鳥の種名と個体数を記録する定点センサスを、8倍の双眼鏡を用いて行った。調査は8時半~14時に実施、1地点あたり10分間とし、各地点1日1回、計3回行った。

調査点は、各樹林地内でできるだけ分散させて配置した。

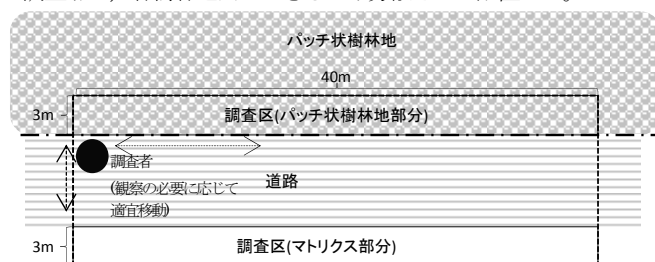


図-1 調査区の状況の模式図

3) 樹林地外における調査

樹林地の近隣の低層住宅地を主とする地域(但し新宿御苑については中高層建築の多い市街地内、表-1)に1kmのコースを設定し、時速2kmで歩きながら観測者の両側各10m以内で確認できた鳥の種名と個体数を記録した。コースは樹林地と接しないように設定した。調査は8倍の双眼鏡を用いて8時半~14時に実施、各地点1日1回、計3回行った。

1)~3)を、期間中に、一樹林地につき3日ずつ行った。

(3) 環境条件の把握

樹林地境界の調査区で、植生と建築物の分布状況を記録した。境界の調査区は、図-1のようにパッチ側40m×3m、マトリクス側(同)、およびその間の道路(40m×道路幅)に分けられる。パッチ側およびマトリクス側の部分について以下の各項目の割合を、0、1%未満、1-10%、10-25%、25-50%、50-75%、75%以上の7段階で記録した。常緑高木(樹高8m以上)、落葉高木(同)、常緑亜高木(2~8m)、落葉亜高木(同)、常緑低木(0.5~2m)、落葉低木・草本(同)、低茎草本(草丈0.5m未満)の各植被率、4階以上の建物、3階以下の建物、人工物(舗装など)により被覆された開放地(舗装地)の各被覆率。加えて、道路幅と、樹林地の境界部にある塀や柵の高さも記録した。さらに、空中写真から、各調査区の短軸を樹林地外への延長線の両側45度の範囲内にある1haおよび10ha以上の樹林地のうち最近隣のものまでの距離を計測した。

(4) 分析

1) 樹林地間、境界の内外での種組成の違い

各調査地で記録された鳥類を、樹林地内、調査区のパッチ部分、樹林地境界を越えて移動した個体、調査区のマトリクス部分、樹林地外のそれぞれについて集計した。7樹林地それぞれについて上述の5区分でのデータがあるため、あわせて35サンプルが得

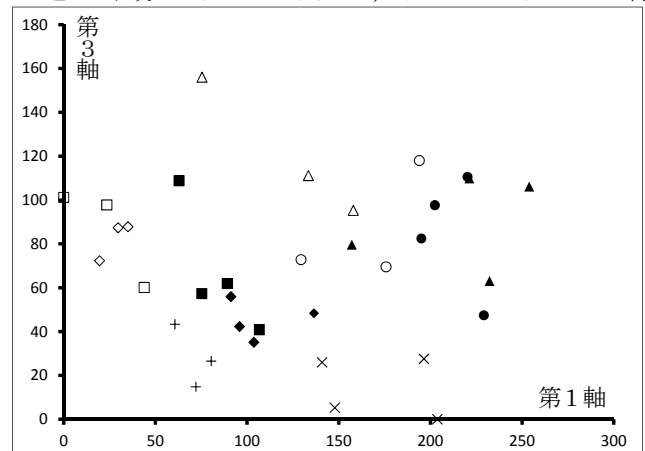


図-2 樹林地間、境界の内外で種組成を比較したDCAのサンプルスコア(第1軸および第3軸)

■□: 樹林地内部、◆◇: 樹林地境界調査区パッチ側、+×: 樹林地境界調査区で境界を越えて移動した個体、▲△: 樹林地境界調査区マトリクス側、●○: 樹林地外。黒塗りと×は都内の樹林地、白抜きと+は近隣の樹林地

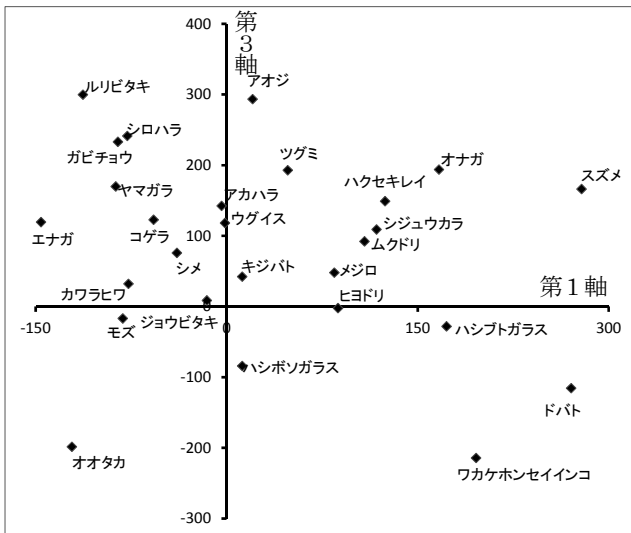


図-3 樹林地間、境界の内外で種組成を比較したDCAの種のスコア(第1軸および第3軸)

られる。これらの間での種組成のばらつきを、系列化型の変数解析手法であるDCA²⁴⁾で分析し、境界の内外での種組成の違いや、樹林地間での種組成の違いを検討した。その際、2サンプル(全体の5.7%)以下でしか記録がなかった種は分析から除外した。また、境界沿いの調査区で記録された個体(パッチ部分、マトリクス部分、境界を越えて移動した個体の合計)のうち、境界を越えて移動した個体の割合を種別に算出し、境界を越えて移動しやすい種、しにくい種の区分を試みた。

2) 境界を越えて移動した個体の種組成の調査区間での違い

樹林地の境界を越えて移動した鳥類のデータのみを、36の調査区ごとに集計した結果を、DCAにより分析した。樹林地により基礎的な種組成が大きく異なると考えられる場合には、種組成が類似した樹林地ごとにDCAを行うこととした。個々の調査区について得られたサンプルスコアを調査区的环境条件と対比させて、どのような条件が種組成に影響しているかを検討した。

現場で計測された環境条件のデータは、項目間の相関が高いと考えられた。そこで環境条件のデータを主成分分析にかけ、重回帰分析の説明変数として使用する際の多重共線性の問題を回避した。主成分分析は、マトリクス側の計測値と道路幅、柵などの高さを対象にした場合と、これにパッチ側の計測値を加えたものと、2通り行った。これは、パッチ側の調査区はいずれも発達した樹林地で計測値のばらつきが小さかったため、これを含めない方が、その後の重回帰分析の説明力が高くなる可能性があることを考慮したからである。得られた主成分得点と、短軸方向の最近隣樹林地までの距離(10ha以上の樹林地までのものと、1ha以上の樹林地までのもの)を説明変数、DCAサンプルスコアを目的変数として、変数減少法による変数選択を伴う重回帰分析を行った。

DCAは、PC-ORD ver.6³⁶⁾で、主成分分析と重回帰分析はSYSTAT 9⁴⁹⁾で計算した。

3. 結果

調査を通じて、42種、のべ7854個体の鳥類が記録された。

(1) 樹林地間、境界の内外での種組成の違い

3サンプル以上で記録された27種を対象として分析を行った。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により得られた系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る³⁵⁾。以下では、これをDCAにおける

表-2 調査区に現れた個体のうち境界を越えて移動した個体の割合(%)

種名	都心	近県
ドバト	65.4 (306)	
オナガ	55.0 (20)	
ハクセキレイ	63.6 (11)	29.0 (31)
ハシブトガラス	72.7 (600)	67.2 (128)
ヒヨドリ	39.3 (900)	74.0 (933)
シメ	37.5 (32)	51.1 (47)
ムクドリ	30.0 (90)	55.9 (59)
キジバト	21.5 (93)	50.8 (128)
ハシボソガラス		63.2 (19)
カワラヒワ		62.0 (150)
メジロ	22.0 (354)	49.5 (208)
シジュウカラ	25.9 (320)	31.4 (140)
ツグミ	20.0 (30)	28.1 (32)
ジョウビタキ		40.0 (15)
ガビチョウ		33.3 (18)
ワカケホンセイインコ	0.0 (13)	
シロハラ	0.0 (12)	15.2 (66)
コゲラ	0.0 (33)	8.1 (37)
アオジ		4.7 (85)
ウグイス		4.3 (23)
スズメ	39.2 (663)	15.3 (144)
エナガ		16.5 (97)
ヤマガラ		18.2 (11)
アカハラ		18.8 (16)

太字は50%以上の値を示す。()内の数値は調査区に現れた個体数の合計。

この個体数が10未満のケースは、この表には含まなかった。

寄与率とみなす。

樹林地間、境界の内外での種組成の違いを検討したDCAでは、第1軸と第3軸の寄与率はそれぞれ0.418、0.116だったが、第2軸の寄与率は0.07にとどまった。第1軸は、樹林地外から樹林地内へという種組成の変化と、都内の調査区から千葉・埼玉県内(以下、近県)の調査区への変化が合わさったもので、第3軸は境界部分とそれ以外を区別するものと判断された(図-2)。種のスコアからも、第1軸に沿って都市化に強いとされる種からそうでない種までが並んだと判断された(図-3)。また、樹林地内部および境界調査区のうちパッチ内の部分で記録された種組成は、都内の4樹林地、近県の3樹林地のそれぞれの間でよく似通っていたことがわかる。従って、鳥類の生息場所としてのパッチの状況には、都内の樹林地間、および近県の樹林地間には、この後の分析の結果に強く影響するような差はないと判断した。

調査区に現れた個体のうち境界を越えて移動した個体の割合を、百分率で表-2に示した。DCAの結果から、東京都内の4樹林地と他の3樹林地とで、出現した鳥類の種組成に違いがあると判断されたことから、都内と近県に分けて値を計算した。

都内では、ドバト、オナガ、ハクセキレイ、ハシブトガラスが、近県ではハシブトガラス、ヒヨドリ、シメ、ムクドリ、キジバト、ハシボソガラス、カワラヒワが、高頻度で境界を越えて移動していた。一方、ワカケホンセイインコ、シロハラ、コゲラ、アオジ、ウグイス、エナガ、ヤマガラ、アカハラの各種は、境界付近に現れたとしても境界を越えた移動を行いにしにくい種と判断された。都内と近県の両方で十分な観察例が得られた種については、概して近県の樹林地で境界を越える移動の頻度が高かった。これにあてはまらなかった種は、ハクセキレイ、ハシブトガラス、スズメの3種で、うちハシブトガラスについては両地域で高い頻度の移動が記録された。

(2) 境界を越えて移動した個体の種組成の検討

都内の調査区とそれ以外とで、種組成の差異が明瞭であったの

表-3 樹林地の境界を越えて移動した鳥の種組成についてのDCAの結果得られた種のスコア

都内の樹林地の境界を越えて移動した鳥の種組成についてのDCA種スコア		近県の樹林地の境界を越えて移動した鳥の種組成についてのDCA種スコア	
種名	DCA第1軸	種名	DCA第1軸
キジバト	422	ツグミ	323
メジロ	277	メジロ	110
ムクドリ	246	ハクセキレイ	234
ツグミ	192	シジュウカラ	209
ハシブトガラス	131	コゲラ	80
ヒヨドリ	111	スズメ	193
シジュウカラ	109	カワラヒワ	72
ハクセキレイ	90	キジバト	180
ドバト	-40	ヤマガラ	180
スズメ	-49	アオジ	180
		オオタカ	145
		ヒヨドリ	139
		アカハラ	138
		シヨウガラス	132
		シロハラ	128
		ムクドリ	-117

で、分析は都内と近県に分けて行った。こうしないと、地域的な種組成の違いが、境界を越えて移動した個体の種組成の違いに強く反映されてしまい、境界における植被や建物など局所的な条件の効果が抽出しにくくなる恐れがあるからである。その際、1 サンプル(全体の6.6 または4.8%)以下でしか記録がなかった種は分析から除外した。寄与率が0.1を越えたのは、都内、近県、いずれの分析でも第1軸のみ(都内0.20, 近県0.67)であった。

都内の樹林地の調査区のDCAの種のスコアを表-3に示した。第1軸のスコアが負であったのはドバトとスズメで、キジバト、シメ、ヤマガラ、メジロなどの種は正のスコアだった。近県の樹林地における調査区のDCAの種のスコアも表-3に示した。第1軸のスコアが大きく正だったのはツグミ、ハクセキレイ、シジュウカラ、スズメであった。

主成分分析の結果を表-4に示した。パッチ側の計測値を含めた主成分分析の主成分得点をこの後の重回帰分析の説明変数に用いた場合、決定係数の著しい減少(0.17~0.22)があったため、パッチ側の計測値を含めずに行った主成分分析で得られた主成分得点のみを利用した。因子負荷量(表-4)から、各主成分の性質を評価できる。第1主成分は植被と建築物を対比する軸と評価でき、植被が多いと値は小さくなる。第2主成分は常緑樹が多いと値が大きく、舗装地が多いと値が小さくなる。第3主成分は低層建築と高層建築を対比する軸で、低層建築が多いと値が大きくなる。第4主成分は常緑亜高木と舗装地が多いところで値が大きくなる。第5主成分は樹木が多く柵が高い場所で値が小さくなる。

重回帰分析の結果は表-5に示した。都内の調査区については、植被が多いと値が小さくなる第1主成分が負、常緑樹が多く舗装地が少ないと値が大きくなる第2主成分が正、樹木が多いと値が小さくなる第5主成分が負に働いているため、境界の外側において植被、特に常緑樹が豊かな場所でDCA第1軸のスコアが大きく、建物と舗装地が多い場所で、DCA第1軸のスコアが小さくなる傾向が認められた。樹林地外側の人工改変の割合が大きなところで負、小さなところで正の値を示すと考えられる。常緑樹と落葉樹とで効果に差があったのは、落葉樹は冬の間は葉を落としており、境界を越えた鳥の移動を促す上で常緑樹ほどの効果が無かったことを示唆している可能性がある。なお、次の近県の調査区の場合ともども、樹林地までの距離が選択されなかった。

DCA第1軸の種のスコア(表-3)から、建築物が多くて植被が乏しいところでは、境界を越えて移動するのは多くがドバトとスズメであり、植被が多くなるに従って、ハシブトガラスやハクセキレイ、ヒヨドリ、シジュウカラが移動するようになり、さらに植被が多くなるとキジバトやメジロ、ムクドリ、ツグミなどの移動も見られた、と解釈できる。

近県の調査区については、常緑樹が多く舗装地が少ないと値が大きくなる第2主成分が負、常緑亜高木と舗装地が多いところで値が大きくなる第4主成分が正に働いていたことから、境界の外側において舗装地が多い調査区でDCA第1軸のスコアが大きく、

表-4 境界の調査区における環境条件測定値に対する主成分分析結果

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分	第6主成分
寄与率(%)	32.7	15.6	11.8	8.9	7.9	7.3
累積寄与率(%)	32.7	48.4	60.1	69.1	76.9	84.3
因子負荷量						
常緑高木植被率	-0.39	0.55	-0.37	0.22	-0.40	-0.22
落葉高木植被率	-0.68	-0.47	0.18	-0.17	-0.21	0.05
常緑亜高木植被率	-0.67	0.30	-0.11	0.52	-0.14	-0.04
落葉亜高木植被率	-0.91	-0.19	0.08	-0.08	-0.17	0.11
常緑低木植被率	-0.41	0.44	0.31	0.25	-0.08	0.55
落葉低木植被率	-0.68	-0.06	0.03	-0.46	-0.12	0.25
草本層植被率	-0.57	0.38	-0.43	-0.30	0.30	-0.21
高層建築物被覆率	0.40	-0.36	-0.55	0.13	-0.11	0.52
低層建築物被覆率	0.41	0.28	0.70	-0.12	-0.36	-0.14
舗装地被覆率	-0.07	-0.73	0.05	0.48	-0.12	-0.23
道路幅	-0.74	-0.37	0.03	-0.03	0.04	-0.23
柵などの高さ	0.43	-0.05	-0.38	-0.30	-0.65	-0.09

境界のマトリクス側の測定値のみを用いた結果。パッチ側の測定値は分析に含めていない。

表-5 環境条件測定値に関する主成分得点から、境界を横切って移動した鳥類種組成のDCAサンプルスコアを説明する重回帰モデル

都内の調査区に関する結果(N=21)	
DCAI	= 93.8 - 15.9 PCI** + 18.4 PC2* - 29.8 PC5**
(R ²)	(0.56, adjR ² =0.48)
近県の調査区に関する結果(N=15)	
DCAI	= 86.0 - 17.5 PC2* + 20.9 PC4*
(R ²)	(0.45, adjR ² =0.36)

PCI-PC5は、第1~第5主成分得点を示す。
変数名の右肩の記号は各変数の係数は0であるとする帰無仮説を棄却する際の有意水準。* p<0.05, ** p<0.01

常緑樹が多いところでは小さくなる傾向が見られたといえる。これも概ね樹林地の境界外側の人為的な改変の程度に対応するものと考えられるが、高層建築が隣接していないためその影響が現れず、舗装地の影響が強く現れていた。都内の樹林地の結果とは人為的改変の内容が異なるとみなければならぬ。改変の程度が大きい場合、ツグミ、ハクセキレイ、シジュウカラ、スズメなどが主に境界を横切り、植被が増えるに従ってDCAの種のスコア(表-3)の値がより小さい種も境界を越えて移動したと考えられた。

以上本研究では、1) 高度に人工化が進んだ都内と人工化の程度がそれほどではない近県とでは、後者においてより多くの鳥類種が境界を越えて移動すること、2) 個々の樹林地では、境界外側における植生の違いが、境界を横切って移動する鳥の種類に影響を与えていることが示された。

4. 考察

(1) マトリクス空間のありかたと鳥の移動

都内と近県の両方で境界の調査区で記録された種は、3種を除き近県で横断割合がより高かった(表-2)。横断割合が都内でより高かった3種のうちハクセキレイとスズメは、いずれも加藤・吉田(2011)で都市利用種に区分されていたもので³²⁾、近県の樹林地では周囲の空間には現れても樹林地の中には侵入しにくい傾向が見られた。この両種と、都内でのみ境界の調査区で10個体以上が記録されたドバトは、パッチ状樹林地に生活を依存する程度が低く、近県では樹林地の周囲だけで食物等をまかなえるため、境界を越えて樹林地に進入する必要は少なかった可能性が考えられる。残るハシブトガラスは、都内、近県どちらでも境界を越えた移動が活発に見られ、どちらの地域でも樹林地内外を頻繁に行き来しているものと考えられた。一方、加藤・吉田(2011)³²⁾で都市忌避種に区分された種は、シメ以外は境界を横断した個体の比率が小さかった。

都内と近県とで、調査対象樹林地内部の鳥類種の差は比較的小さかったが、境界を横断した個体、境界調査区のマトリクス側にいた個体、マトリクス内で記録された個体の種組成は、都内と近県の間で大きな違いが見られた(図-1)。都内と近県では周囲の土地利用状況が大きく異なっていた(表-1)。従って、樹林地の外側の空間のあり方の違いが、鳥類が樹林地の境界を越えて行う移動に関係していることが、まず考えられる。

森林内部性の鳥は、森林の周りの開放地を超えて移動しにくい

とされている²⁶⁾³⁴⁾。しかし、状況次第では、森林性の鳥でもマトリクスに移動してそこを利用する。Belisle and Desrochers (2002)は、森林性鳥類もある程度近くに森林が認識できるなら、開放地を越えてその先にある森林に移動することもあるとしている⁷⁾。本研究の調査地でも、近県の3樹林地の周囲には都内の4樹林地の周囲よりも多くの樹林地が分布していた(表-1)。種によっては、樹林地の周囲の空間を積極的に利用していたかもしれない。海外では、樹林地の種の一部が樹林地の周りの伐採跡地や放牧地もよく利用していた例が報告されている¹⁹⁾⁴²⁾。食物が得られる可能性は、鳥が周囲の空間を利用する理由を説明し得る。パッチ間の移動の途中で補給できる餌の存在は、移動の成功を左右するからである¹¹⁾¹⁸⁾²¹⁾。森林性あるいは林縁性として知られる鳥類が、農耕地で採食して作物に被害を与えることも知られている。日本の場合、農林水産省によると、カラス類(ハシブトガラス、ハシボソガラスなど)、スズメ、ヒヨドリ、ムクドリ、ハト類(キジバト、ドバト)が、農地の害鳥として知られる⁴³⁾。スズメを除き、本研究で近県の調査区で境界を越えた移動を高頻度で示した種である。かつ、近県の3樹林地の周囲には都内の4樹林地の周囲よりも多くの農耕地・草地在り分布していた(表-1)。千葉県西部の樹林地で越冬期の鳥類を調査した研究では、周辺に農耕地の多い樹林地において、一部の種の利用可能性が増大したことが報告されている³⁸⁾。純粋に森林内部性の種以外では、このような形でマトリクス内の食物を利用することが少なくないと思われる。

以上から、近県の樹林地で鳥による境界の横断がより高い頻度で記録された理由として、周囲に移動対象となる他の樹林地や、一部の種の採食場所となる農耕地がより多く存在したことを挙げることができる。

(2) 境界の状況と鳥の移動

境界外側における植生の違いが、境界を横切って移動する鳥の種類に影響を与えているという本研究の結果は、Hodgson et al. (2007)が夏季の比較的低密度の市街地で²⁵⁾、小川・加藤(2010)が越冬期の都心で⁴⁵⁾、それぞれ確認した状況と符合する。マトリクスの状況によらず、植被は境界における鳥類の移動可能性、すなわち透過性 permeability¹⁵⁾⁵⁰⁾を高め、建築物、特に高層建築物や舗装地はそれを低めると考えられる。

鳥類は、パッチ境界をパッチ間のコントラスト、すなわち境界の両側の間での状況の違いにより認識すると考えられている。

Wiens (1992)は、一般的に動物によるパッチ境界の認識は、パッチ間のコントラストが強い場合に容易だと説明している⁵⁶⁾。コントラストが強い場合には、特に森林内部生種は境界を越えて移動しない。森林性鳥類の多くは農地や伐採地などの開放地への移動を避け、主たる生息場所である森林を選択する傾向が強い¹⁴⁾²⁰⁾。

例えば、樹林地と草地の間の境界よりも、異なる種類の樹林地の間の境界は、コントラストが小さい。Vergara et al. (2013)は、移動実験により、フォークランドツグミ *Turdus falcklandi* は牧草地では河畔林との境界界いに移動したのに対し、ユーカリ林では河畔林に沿った移動は起こりにくくなったとしている⁵⁴⁾。主成分分析(表-4)および重回帰分析の結果(表-5)から、本研究では、境界における建物の多さや植被の多さが、移動する種の組成(DCA第1軸)に影響したという結果が得られたといえる。都内の樹林地では境界でのコントラストは主に建築物の多少で規定され、近県の樹林地では舗装地の多少が影響していたと考えられる。

もちろん、注目する種によって移動に関わる性質は異なる¹⁾。では、どのような種がコントラストの大きな境界を越えて移動しやすいのだろうか。本研究では、都内の樹林地ではドバト、スズメが、近県の樹林地ではツグミ、ハクセキレイ、シジュウカラ、スズメが、それぞれコントラストの大きな境界で移動個体に占め

る割合を増やしていた(表-3)。重回帰分析の結果から、前者は高層建築物を問題にしない種、後者は人工的な裸地を問題にしない種と言い換えることもできるだろう。これらのうちドバト、スズメ、ハクセキレイは都市利用種に、他の種は都市適応種に、加藤・吉田(2011)により都市利用種に区分されている³²⁾。また、ドバトスズメ、ハクセキレイ、ツグミなどは、樹林地よりもより開けた環境を利用するとされる⁴¹⁾。とはいえ同じく都市利用種に区分され、やはり開けた環境も利用するムクドリ⁴¹⁾は、都内でも近県でもむしろコントラストの小さな境界で移動個体に現れた(表-3)。樹林地の境界をどの部分で横断するかという、前の(1)節で取り上げたよりも細かな空間スケールで現象を見た場合には、都市的な環境の選好性や、生息地としての樹林地への依存度だけでは解釈できないと思われる。

(3) 都市および近郊における生物多様性保全への適用

個体群の維持や生物多様性の維持の観点から、生息場所の分断化が進んだ地域において、動物がパッチ間を移動できることの重要性が繰り返し指摘されている⁴⁾¹⁰⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²³⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾。MacIntosh et al. (2011)は、分断化が進んだところほど移動が活発に起こることを示し、そういう場所ほどランドスケープにおける動物の移動可能性を高めることが重要であると述べている³³⁾。こうした見解は、都市や近郊においても当然あてはまるだろう。

前節までの議論から明らかのように、動物の移動可能性を高めるためには、生息場所を取り巻くマトリクスを適切に管理し、動物にとっての利用価値を高めるとともに、生息場所の境界のありかたを調整して透過性を維持することが必要である。具体的には、生息地の境界の外側に隣接する部分の植生を豊かにして人工構造物はできるだけ減らし、その外側のマトリクス空間も動物の移動や採食のための空間として機能できるようにすることが望まれる。都市的な環境を避ける種については、マトリクスの利用を通じて生息を助ける効果は小さいかもしれないが、近隣にある同種の樹林地の間を容易に移動できるようになる効果は期待できる。

都市や近郊における生物多様性の保全に対する関心が高まり³⁹⁾、エコロジカルネットワークの考えに基づく生物多様性の向上が検討されている²⁷⁾。緑道など生態的回廊²⁸⁾として機能する空間だけでなく、生息場所の境界のあり方、生息場所を取り巻くマトリクス空間のあり方にも、より関心が払われるべきであろう。

謝辞: 本研究の実施にあたっては、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、笠原里恵、土田啄水、本田裕紀郎、三高隼人、宮正彦、宮井遼平、吉田亮一郎の各氏より、多大なご助力を賜った。ここに記してお礼を申し上げる。本研究は、科学研究費基盤研究(B)(課題番号18380020、2006~2008年度)の成果である。関係各位に謝意を表す。

引用文献

- 1) Aben J, Adriaensen F, Thijs K.W, Pellikka P, Siljander M, Lens L. & Matthysen E. (2012): Effects of matrix composition and configuration on forest bird movements in a fragmented Afriomontane biodiversity hotspot: *Animal Conservation* 15, 658-668
- 2) Akasaka, M., Takenaka A., Ishihama F., Kadoya T., Ogawa M., Osawa T., Yamakita T., Tagane S., Ishii R., Nagai S., Taki H., Akasaka T., Oguma H., Suzuki T. and Yamano H. (in press): Development of a national land-use/cover dataset to estimate biodiversity and ecosystem services. In: Nakano S., Yahara T., and Nakashizuka T. (eds.) *The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity*. Springer.
- 3) Baker J., Goldingay R.L. & Whelan R.J. (1998): Powerline easements through forests: a case study of impacts on avifauna: *Pacific Conservation Biology* 4, 79-89.

- 4) Beier P. & Noss R.F. (1998): Do habitat corridors provide connectivity? *Conservation Biology* 12, 1241-1252
- 5) Beier P., Van Drielen M. & Kankam B.O. (2002): Avifaunal collapse in the West African forest fragments: *Conservation Biology* 16, 1097-1111
- 6) Belisle M. & Desrochers A. (2002): Gapcrossing decisions by forest birds: An empirical basis for parameterizing spatially-explicit, individual-based models: *Landscape Ecology* 17, 219-231
- 7) Belisle M., Desrochers A. & Fortin M.J. (2001): Influence of forest cover on the movements of forest birds: a homing experiment: *Ecology* 82, 1893-1904
- 8) Bender J.D. & Fahrig L. (2005): Matrix structure obscures the relationship between interpatch movement and patch size and isolation: *Ecology* 86, 1023-1033
- 9) Blake J.G. & Karr J.R. (1987): Breeding birds of isolated woodlots: Area and habitat relationships: *Ecology* 68, 1724-1734
- 10) Boscolo D., Candia-Gallardo C., Awade M. & Metzger J.P. (2008): Importance of interhabitat gaps and stepping-stones for Lesser Woodcreepers (*Xiphorhynchus fuscus*) in the Atlantic forest, Brazil: *Biotropica* 40, 273-276
- 11) 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
- 12) Dale S., Mork K., Solvang R. & Plumtre A.J. (2000): Edge effects on the understory bird community in a logged forest in Uganda: *Conservation Biology* 14, 265-276
- 13) Darren J.B. & Lenore F. (2005): Matrix structure obscures the relationship between interpatch movement and patch size and isolation: *Ecology* 86, 1023-1033
- 14) Desrochers A. & Hannon S.J. (1997): Gap crossing decisions by forest songbirds during the post-fledging period. *Conservation Biology* 11, 1204-1210
- 15) Fagan W.F., Cantrell R.S. & Cosner C. (1999): How habitat edges changes species interactions: *American Naturalist* 153, 165-182
- 16) Fahrig L. & Merriam G. (1994): Conservation of fragmented populations: *Conservation Biology* 8, 50-59
- 17) Franklin J.F. (1993): Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes? *Ecological Applications* 3, 202-205
- 18) Galindo-Gonzalez J., Guevara S. & Sosa V.J. (2000): Bat- and bird-generated seed rains at isolated trees in pastures in a tropical rainforest: *Conservation Biology* 14, 1693-1703
- 19) Gascon C., Lovejoy T.E., Bierregaard Jr. R.O., Malcolm J.R., Stouffer P.C., Vasconcelos H.L., Laurence W.F., Zimmerman B., Tocher M. & Borges S. (1999): Matrix habitat and species richness in tropical forest remnants: *Biological Conservation* 91, 223-229
- 20) Gobeil J.F. & Villard M.A. (2002): Permeability of three boreal forest landscape types to bird movements as determined from experimental translocations: *Oikos* 98, 447-458
- 21) 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
- 22) Harris R.J. & Reed J.M. (2002): Behavioral barriers to non-migratory movements of birds: *Annales Zoologici Fennici* 39, 275-290
- 23) Henein K., Wegner J. & Merriam G. (1998): Population effects of landscape model manipulation on two behaviourally different woodland small mammals: *Oikos* 81, 168-186
- 24) Hill M.O. & Gauch H.G. (1980): Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique: *Vegetatio* 42, 47-58
- 25) Hodgson P., French K. & Major R. (2007): Avian movement across abrupt ecological edges: Differential responses to housing density in an urban matrix: *Landscape and Urban Planning* 79, 15-19.
- 26) Ibarra-Macian A., Robinson W.D. & Gaines M.S. (2011): Experimental evaluation of bird movements in a fragmented Neotropical landscape: *Biological Conservation* 144, 703-712
- 27) 一ノ瀬友博 (2010): 都市におけるエコロジカルネットワークのあり方: 都市計画 59(5), 38-41
- 28) 加藤和弘 (1995): 生態学の視点で見た都市・農村計画: 環境研究 98, 125-132
- 29) 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関係: ランドスケープ研究 59(5), 77-80
- 30) 加藤和弘 (2005): 都市のみどりと鳥: 朝倉書店, 122pp.
- 31) 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
- 32) 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
- 33) MacIntosh, T., Stutchbury, B.J.M. & Evans, M.L. (2011): Gapcrossing by Wood Thrushes (*Hylocichla mustelina*) in a fragmented landscape: *Canadian Journal of Zoology* 89, 1091-1097
- 34) Matthews S.N. & Rodewald P.G. (2010): Movement behaviour of a forest songbird in an urbanized landscape: the relative importance of patch-level effects and body condition during migratory stopover: *Landscape Ecology* 25, 955-965
- 35) McCune B., Grace J.B. & Urban D.L. (2002): Analysis of Ecological Communities: MjM Software Design, 300pp.
- 36) McCune B. & Mefford M.J. (2011): PC-ORD: Multivariate Analysis of Ecological Data, Version 6.0: MjM Software Design, Gleneden Beach, U.S.A.
- 37) 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
- 38) Morimoto T., Katoh K., Yamaura Y. & Watanabe S. (2006): Can surrounding land cover influence the avifauna in urban / suburban woodland in Japan? *Landscape and Urban Planning* 75, 143-154.
- 39) 森本幸裕 (2010): 都市における生物多様性指標の開発にあたって: 日本緑化工学会誌 36, 367-368
- 40) Murcia C. (1995): Edge effects in fragmented forests: implications for conservation: *Trends in Ecology and Evolution* 10, 58-62
- 41) 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, 301 pp
- 42) Norton M.R., Hannon S.J. and Schmiegelow F.K. (2000): Fragments are not islands: patch vs landscape perspectives on songbird presence and abundance in a harvested boreal forest: *Ecography* 23, 209-223
- 43) 農林水産省 (2013): 野生鳥獣による農作物被害状況 (平成 23 年度): <http://www.maff.go.jp/j/seisan/tyozuyou/higai/h_yokyoku2h23/pdf/130625_c.pdf>, 2013.9.4 参照
- 44) 小川みふゆ・竹中明夫・角谷拓・石濱史子・山野博哉・赤坂宗光 (2013): 植生図情報を用いた全国スケールでの土地利用図の作成: 保全生態学研究 18, 69-76.
- 45) 小川直哉・加藤和弘 (2010): 都市緑地における鳥類のバッチ境界を越える移動と境界外縁部の土地被覆との関係: 環境情報科学論文集 24, 67-72
- 46) Rosenberg D.K., Noon B.R. & Meslow E.C. (1997): Biological corridors: form, function, and efficacy: *BioScience* 47, 677-687
- 47) Saunders D.A., Hobbs R.J. & Margules C.R. (1991): Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review: *Conservation Biology* 5, 18-32
- 48) Schippers P., Verboom J., Knaapen J.P. & van Apeldoorn R.C. (1996): Dispersal and habitat connectivity in complex heterogeneous landscapes: An analysis with a GIS-based random walk model: *Ecography* 19, 97-106
- 49) SPSS Inc. (1998): SYSTAT version 9: SPSS Inc.
- 50) Stamps J.A., Buechner M. & Krishnan V.V. (1987): The effects of edge permeability and habitat geometry on emigration from patches of habitat: *American Naturalist* 129, 533-552
- 51) Taylor K., Marchant J.H. & Morgan R.A. (1987): The Breeding bird communities of woodland in a new city: *Acta Oecologica, Oecologica Generalis* 8, 293-299
- 52) 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, 533-536
- 53) 鶴川健也・加藤和弘 (2007): 都市の鳥類群集と環境との関係に関する研究の現状と課題: ランドスケープ研究 71, 299-308
- 54) Vergara P.M., Pérez-Hernández C.G., Hahn L.J. & Jiménez, J.E. (2013): Matrix composition and corridor function for austral thrushes in a fragmented temperate forest: *Landscape Ecology* 28, 121-133
- 55) Wiegand T., Revilla E. & Moloney K.A. (2005): Effects of habitat loss and fragmentation on population dynamics: *Conservation Biology* 19, 108-121.
- 56) Wiens J.A. (1992): Ecological flows across landscape boundaries: a conceptual overview: *In: Hansen A.J., di Castri F. (eds.), Landscape Boundaries*, 217-235, Springer, 476pp.
- 57) 山浦悠一・加藤和弘 (2009): 周辺環境が鳥類の生息に及ぼす影響 「鳥の自然史」 (樋口広芳・黒沢令子・編) pp.123-138, 北海大学出版会