

# 都市鳥類の生息モデルに基づいた緑地計画技術

北野 雅人・深谷 肇 一

都市の生物多様性が注目されているなか、都市では鳥類を対象にして事業所等を緑地化することが多い。鳥類に配慮した緑地計画に活用することを目的として、筆者らは東京都市部の現地調査データを基に、発見確率を考慮した階層モデルを適用し、都市に生息する各鳥種の生息に影響を与える環境要因の定量評価を行った。解析結果は、計画地の環境特性に応じた目標（種）の設定等に活用でき、科学的根拠に基づく政策決定や都市計画、緑地設計が可能となる。

キーワード：都市、生物多様性、鳥類、定量評価、階層モデリング、緑地計画への適用

## 1. はじめに

近年、都市の生物多様性に注目が集まりつつある。COP10以降、都市における生物多様性の保全に関する指針策定等が行われ、また国内でも生物多様性基本法が施行される等行政上のルール作りが進んできている。また、都市の生物多様性を高める意義に関する研究も進んでおり、身近に生きものとふれ合う機会を創出することが都市に住む人々の生活や教育の質に良い影響を与えることは多くの研究で報告されている<sup>1)~3)</sup>。一般に生物多様性の保全を進める現実的な手段としては、生態系全般を考慮するよりも、指標となる種等を選定してその指標に応じた保全を進める方が低コストだったり、世間の関心や環境保全に対する投資の分かり易さの面で適しているとされている<sup>4), 5)</sup>。建設業においても図-1のように、計画地に応じた目標（種）を定めるフローで緑地計画を行うことが理想的である。

都市の生物多様性の指標となる生物は、都市生態系の上位種であることや生息地の変化に対する脆弱性、観察の容易さ等の理由から、鳥類が対象になることが多く<sup>1), 5), 6)</sup>、それら呼び込むために都市で行える取組みとしては、生物のために事業所等の敷地内を緑地化することが一般的である<sup>7)</sup>。都市の緑地内に生息する鳥類の種数や個体数に影響を与える環境要因については、国内外で数多くの研究が行われてきており、重要な環境要因については明らかにされている<sup>8)</sup>。ただし事業所等内の緑地を計画する視点で行われた研究は少なく、残された課題もある。

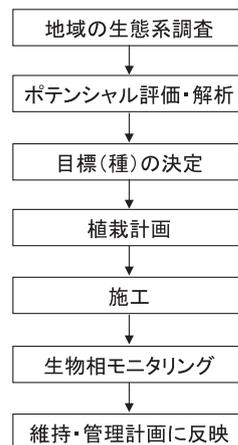


図-1 生物多様性に配慮した緑地計画のフロー

## 2. 都市における鳥類と緑地に関する技術的課題

都市部で鳥類に配慮した緑地計画・管理を行う場合、以下の課題が挙げられる。

### (1) 小規模緑地を対象にした研究の少なさ

都市部では規模が大きい緑地が研究されることが多く、小規模緑地に注目が集まってきたのは比較的最近のことである<sup>9)</sup>。日本の都市では、大きな面積の緑地を造ることは現実的ではなく<sup>10)</sup> 小さな緑地をどう増やしていくかが課題であることから、小規模の緑地での研究が重要になる。

### (2) 定量性の課題

先行研究では、鳥類の種組成や種数に影響を及ぼす

要因の定性的な評価（例えば餌資源を多くする、面積を大きくする等）が多いが、一つの環境要因がどの程度それらに影響を及ぼすのか、定量的な知見も重要である<sup>11)</sup>。これらの定量的な評価は、政策決定者や都市計画者、緑地設計者等とのコミュニケーションを促進させることから重要と考えられている<sup>12), 13)</sup>。

### (3) 目標設定に関する課題

先行研究では、鳥類の種数や種の多様度に着目した研究が多い。その環境にどれだけの種が生息できるかという情報は確かに生態系の質を表す指標となるが、種数は種組成の違いを考慮できず、多様度の測定基準では調査地間の比較は行いにくい<sup>14)</sup>。また、都市は極めて特殊な環境でありそもそも都市化が有利に働く種もあり、必ずしも種数で自然度を表すことができない等といった問題点もある<sup>15)</sup>。都市の生物多様性の保全は比較的最近注目されている分野であり、都市の特殊な環境も重なり、都市鳥類の何を目標に保全を進めていくべきか、どのようなシチュエーションにも当てはまる明確な答えは現状では無い。それ故に、計画地の環境特性やステークホルダーとのコミュニケーションを通じて、計画地に応じた目標設定を柔軟に行うことが必要である。柔軟な目標設定を可能にするためには、各鳥種それぞれの生息モデルの作成が必要であり、それによって目標となる種または個体群の環境選好性を満たす緑地造り・緑地管理が実現できる<sup>16)</sup>。

### (4) 発見確率に関する課題

規模が小さい緑地が多くを占める都市ならではの問題として、緑地を利用する鳥類が、たまたま調査を実施した時間に緑地から離れていて見つからないことがありえる。このような「偽の不在」データの存在をないものと考えた解析は、鳥類の分布と環境選好性の関係を誤って判断してしまうことに繋がる。調査努力量を増やすことは発見確率を高める解決策に成り得るが、多大なコストがかかってしまうことから汎用的な解決策とはいえない。

## 3. 調査・解析

以上の問題点を解決するために、事業所等の緑地計画のメインとなる小～中規模の都市緑地を対象に鳥類相の現地調査を行い、多種占有モデル (Multi-species occupancy model) を用いた統計解析を行った。この統計モデルは、データに含まれる「偽の不在」を適切に処理し、限られた分布調査データから様々な種の環

境選好性を同時に定量評価することができる<sup>17), 18)</sup>。

### (1) 調査地の環境特性

鳥類の生息に影響を与える要因は大きく分けてサイトレベルの要因（調査地自体の環境）とランドスケープレベルの要因（周辺環境特性）に分けられる。先行研究では、サイトレベルでは緑地面積、植生構造、植生密度等が鳥類の種数や多様度に与える影響が大きいとされている。ランドスケープレベルでは、緑被率、人工物率、大規模緑地までの距離等の影響が大きいとされている。農耕地率が影響しているとする文献もあるが、都市中心部に農耕地はほとんど無いことから本研究では考慮しなかった。以上から、東京都市部において小～中程度の規模で企業や役所が所有する緑地（屋上緑地を含む）や都市公園を24箇所選定し、各調査地にて毎木調査によるサイトレベルの環境変数の抽出や、衛星画像 (WorldView-2) を基に正規化差植生指数 (NDVI) の算出による緑被率等ランドスケープレベルの環境変数をそれぞれ抽出した。なお、多重共線性の影響を受けないよう環境変数の分散拡大要因 (VIF) が10を超えないことを確認した<sup>19)</sup>。

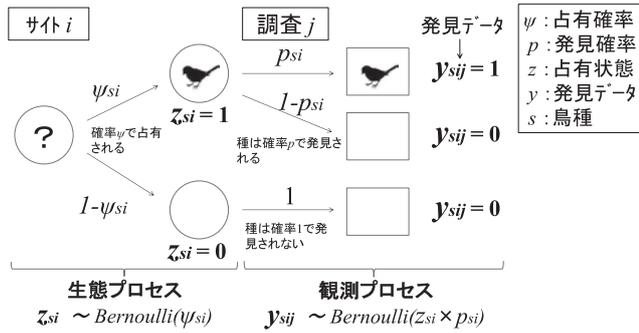
### (2) 鳥類調査

調査地内で目視によるセンサスを行い、確認された鳥種や数等を記録した。2012～2014年の2～3月（越冬期）、5～6月（繁殖期）、11月（結実期）の3シーズンに調査を実施した。各シーズン1時間の調査をそれぞれ2回ずつ、年間計6回行った。

### (3) 解析

個々の種の生息条件を独立に評価しようと思えばそれぞれの種に関する多くの調査データが必要となり、網羅的な分布調査を行うためには多くのコストがかかる。また、緑地が実際にある鳥類に利用されていたとしても、たまたま調査を実施した時間に鳥類が調査地から離れていて観察されない「偽の不在」データの存在も、鳥類相の過小評価に繋がる。本稿では、生息地の占有確率（在・不在）だけでなく調査地における種の発見確率を考慮した階層モデルである多種占有モデルを用いて、様々な種の環境選好性の定量的な評価を行った。

モデルの概念図を図-2に示した。鳥類の発見データは、調査地の占有状況の決定則を表す生態プロセスと、占有状況に依存した観測プロセスを表す2つのベルヌーイ分布によって表される。サイト*i*が種*s*によって利用されていることを「種*s*によるサイト*i*の



図一 2 モデルの概念図

占有」と定義し、これを  $z_{si} = 1$  と表す。このサイトを種  $s$  が利用していなければ、 $z_{si} = 0$  である。 $z$  はサイトの占有状態を表す確率変数であり、以下で説明する発見誤差のために完全には観測されない状態変数である。占有確率は  $z_{si} = 1$  となる確率であり、これを  $\psi_{si}$  と表す。

観察される発見データの分布は、状態変数の値に依存して以下のようにモデル化される。サイトが占有されている ( $z_{si} = 1$ ) の場合には、1回の調査あたり  $p_{si}$  の確率で種  $s$  が観察される。一方で、種  $s$  がサイト  $i$  を占有していても、確率  $1-p_{si}$  で観察されないものとする。この仮定により、先に説明した「偽の不在」データを考慮して鳥類相の過小評価を修正した推定が行われる。一方、種  $s$  がサイト  $i$  を占有していない場合には、調査によってこの種が発見されることはない仮定される。

種や環境による占有確率と発見確率の変動は以下のような線形モデルによりモデル化される。

$$\text{logit } \psi_{si} = a_{0s} + a_{1s} * (\text{環境1})_i + a_{2s} * (\text{環境2})_i + \dots \quad \text{式 1}$$

$$\text{logit } p_{si} = b_{0s} + b_{1s} * (\text{環境1})_i + b_{2s} * (\text{環境2})_i + \dots \quad \text{式 2}$$

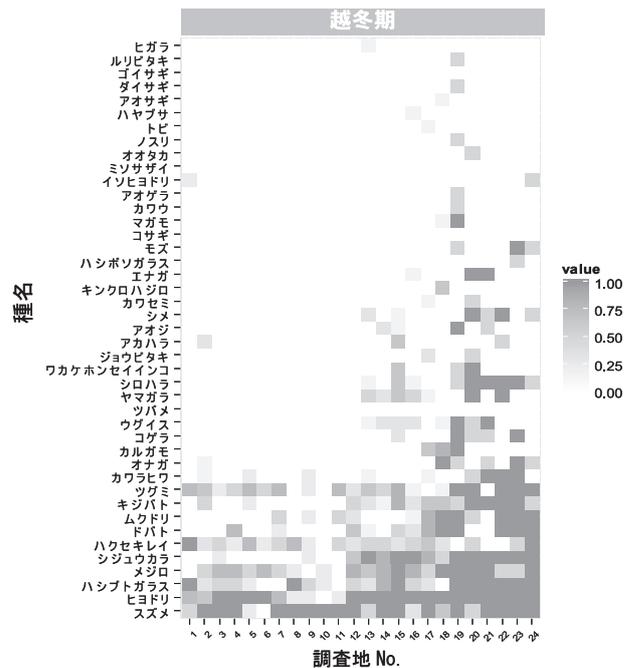
環境と鳥類相の関係性はこの回帰式の係数を統計的に推定することによって明らかとなる。モデルは階層ベイズモデルとして定式化し、パラメータの事後分布をマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いて

推定した。各鳥種の占有確率には、サイトレベルとランドスケープレベルの環境変数が共に影響を与えると考えられる。一方発見確率は、そもそも規模が限定されている都市緑地では人為的な見落としよりも調査時に鳥類が緑地から離れていることによる「偽の不在」要因の方がはるかに大きいと考えられることから、発見確率にはランドスケープレベルの環境変数のみ考慮することにした。

#### 4. 結果

調査地の環境特性の一例を表一に示した。周辺の緑被率はどの調査地も総じて低く、調査地が含まれる地域は都市中心部であるため人為的影響が極めて強い空間であった。

次に、各調査地における各鳥種と発見回数のヒートマップを図一三に示した (越冬期のみ例示)。3年間



図一 3 越冬期における鳥種と発見回数のヒートマップ

表一 1 各調査地における環境変数の一例

No	所在地	用途	サイトレベル				ランドスケープレベル			
			緑化階	敷地面積(ha)	中高木層面積(m <sup>2</sup> )	中高木層植被率	低木層面積(m <sup>2</sup> )	低木層植被率	半径500m緑被率	大規模緑地までの距離(m)
1	千代田区	オフィスビル	11	0.21	94	0.05	703	0.34	0.34	201
2	中央区	病院	6	0.23	809	0.36	1,164	0.51	0.10	1,221
3	中央区	オフィスビル	10	0.16	1,422	0.91	862	0.55	0.02	1,116
4	中央区	オフィスビル	1	0.30	4,656	1.55	1,614	0.54	0.13	290
5	渋谷区	マンション	1	0.62	12,115	1.95	1,830	0.29	0.18	363
6	港区	公園	1	0.15	1,884	1.26	406	0.27	0.20	1,600
7	江東区	公園	1	0.26	2,377	0.92	621	0.24	0.15	189
8	江東区	公園	1	0.39	3,395	0.86	1,255	0.32	0.12	1,362
9	中央区	商業施設	9	0.17	583	0.34				

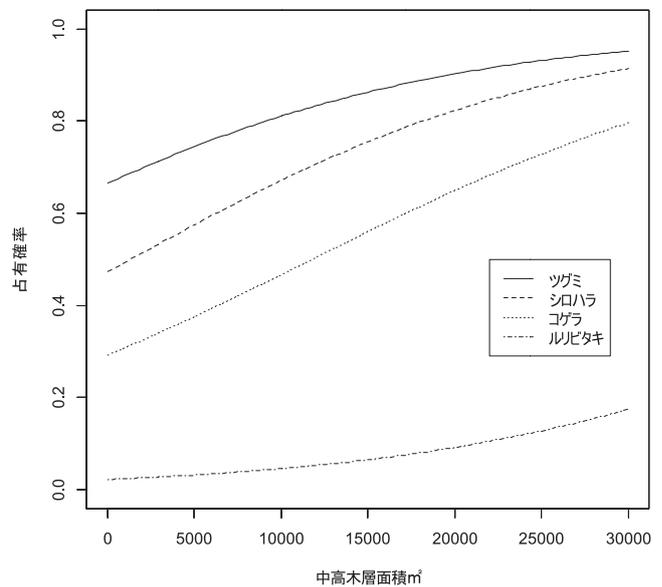
で43種の鳥類の利用が確認された。スズメやドバト等の市街地を主な生息場所とする都市性鳥類が調査地の鳥類相の多くを占める一方で、特に越冬期を中心に、都市部では大規模な緑地以外では見られなことが少ない冬鳥（東京都市部）のヒガラ・アオジ・アオゲラ等の小鳥類や、少数ではあるがオオタカ・ハヤブサ等の猛禽類も確認された。

表一2には、各鳥種の占有確率・発見確率と環境変数との間のパラメータ推定値を例示した（係数の90%信用区間が0を含まないものを太字で示している）。多くの種の生息にプラスに影響を与えている環境変数は、サイトレベルの中高木層面積とランドスケープレベルの緑被率であり、これは多くの文献と一致している。またサイトレベルの低木層面積も多くの種に+に影響していた。カワラヒワやシメ、シロハラ、ツグミ、ルリビタキ等は地表を主な採餌場所として利用することから、隠れ場所として低木を利用していることが考えられる。この点は先行研究<sup>20)</sup>でも指摘されており、階層構造の重要性が本稿でも示唆された。一方同じ地表採餌タイプでも、キジバトやドバト、ムクドリは逆に低木植被率が低い方を好む結果になったが、これらの種は隠れ場所として低木ではなく中高木を利用することが多く、むしろ低木が無くすっきりした林床を好むためだと考えられる。大規模緑地までの距離は今回の解析では鳥類の生息に影響を与えていなかった。本調査場所は大規模緑地から離れている調査地が多く（表一1）、行動圏の範囲に収まっていなかったことが大規模緑地の影響を受けていなかった理由であろう。発見確率については、半径500m内の緑被

率が-に影響している種が多かった。小規模な緑地が大半の都市部においては、緑地間を幅広く利用しながら採餌等を行っており、緑地が周辺に多いほど周辺に滞在する時間や頻度が増え、調査地が利用される頻度が低下したことが理由として考えられる。

### 5. 緑地計画への活用

本研究の解析結果の緑地計画への活用方法に関して紹介したい。例えば都市のようにまとまった緑地面積を確保できない場所でも、許容できる緑地規模から誘致可能な種を目標種として適切に設定できる（図一4）。また緑地計画において設計者が必要とする条件



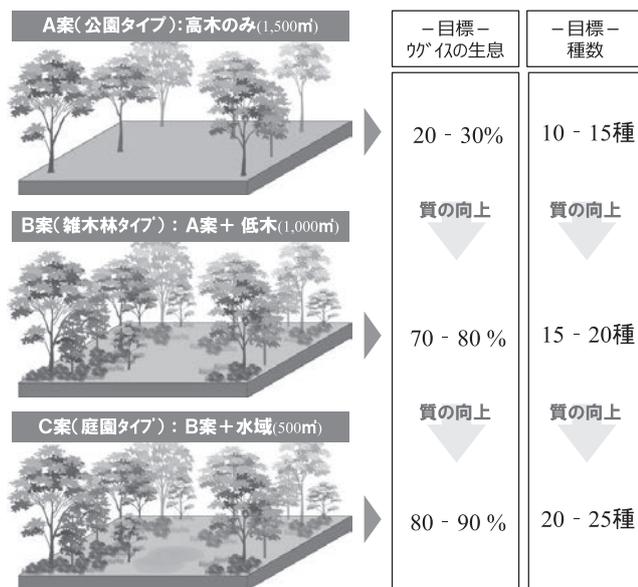
図一4 各鳥種の占有確率と中高木層面積

表一2 各鳥種の占有確率・発見確率と環境変数との関係

種名	占有確率						発見確率	
	サイトレベル				ランドスケープレベル		ランドスケープレベル	
	中高木層面積	中高木層植被率	低木層面積	低木層植被率	半径500m緑被率	大規模緑地までの距離	半径500m緑被率	大規模緑地までの距離
1 アオゲラ	<b>1.55</b>	0.02	<b>1.37</b>	-0.30	0.80	0.24	-0.11	-0.22
2 アオジ	0.91	0.48	<b>1.24</b>	-0.14	0.87	0.06	-0.21	-0.40
3 アカハラ	0.95	0.93	1.18	-0.22	<b>1.18</b>	0.25	0.11	-0.53
4 イソヒヨドリ	<b>1.66</b>	-0.93	1.26	-0.79	0.67	-0.01	-0.64	-0.29
5 ウグイス	0.35	<b>1.22</b>	0.92	0.32	0.95	0.17	0.44	-0.27
6 エナガ	1.07	0.23	1.22	-0.39	<b>1.06</b>	0.28	0.07	<b>-0.80</b>
7 オオタカ	1.27	0.24	1.24	-0.48	0.95	0.08	-0.07	-0.54
8 オナガ	<b>2.03</b>	<b>-1.55</b>	1.23	-0.17	0.55	0.30	<b>-0.58</b>	0.19
9 カワラヒワ	<b>1.75</b>	-0.68	<b>1.19</b>	-0.46	<b>0.74</b>	0.00	-0.21	-0.52
10 キジバト	1.37	-0.74	0.91	<b>-1.13</b>	0.47	-0.16	<b>-0.64</b>	-0.25
11 コゲラ	<b>1.52</b>	0.60	<b>1.23</b>	-0.67	<b>0.89</b>	-0.06	0.01	-0.42
12 シジュウカラ	0.91	0.50	1.01	-0.19	0.90	0.26	<b>0.38</b>	<b>-0.37</b>
13 シメ	<b>1.43</b>	0.28	<b>1.56</b>	-0.07	<b>1.15</b>	0.36	0.25	-0.61
14 ジョウビタキ	0.60	-0.20	0.40	<b>-1.03</b>	0.78	-0.18	-0.61	-0.42
15 シロハラ	<b>1.67</b>	0.28	<b>1.43</b>	-0.41	<b>1.04</b>			<b>-0.83</b>
	1.29	-0.30	0.99					

は、何の樹木をどの程度植栽するか（植栽密度）であり、それによって得られる景観タイプが決定される。多くの鳥種の生息条件として必要な高木・低木の面積や密度が定量的に評価されたことで、設計者が意図する景観タイプを実現した場合の最適な目標（種）の選定やその誘致可能性を定量的に提示できるようになる（図—5）。

生息有無を判別する閾値を設定し、計画地の環境を踏まえて閾値を超える種を累積することで、応用的に生息種数の推定も評価でき、それをを用いて緑地造りの成果の可視化ツールとしても活用できると考えている。目標を種数に設定した場合、計画地を大規模的に緑地化した場合にどれくらいの生息種数の増加に寄与できるのか、可視的に表現することで（図—6）、成果が分かりづらい生物多様性の保全への取り組みのモチベーションとなることも期待できる。



図—5 緑地景観タイプと目標に対する定量評価

## 6. おわりに

冒頭でも記述したが、都市部では何を目標に緑地計画を行うべきか、どのようなシチュエーションにも当てはまる明確な答えは現状では無い。都市鳥類の目標設定における一事例として、建設時の近隣住民との意見交換時に、昔は計画地にウグイスが生息していたという情報があり、また建設前の生態系調査でもウグイスの計画地付近での越冬例があったことから、目標種をウグイスと設定した事例があった。このように計画地の環境特性やステークホルダーとのコミュニケーションを通じて取組みの目標に関して合意形成し、計画地に応じた目標を柔軟に設定することが望ましい。本稿で紹介した解析の利点は、これまで成されていなかった都市鳥のさまざまな種の生息条件を定量的に評価できたことである。それによって計画地に応じた目標（種）の環境選好性を具体的な数値で示すことで、政策決定者や都市計画者、緑地設計者等とのコミュニケーションを促進させることができるだろう。

## 謝 辞

本技術の研究を進めるにあたり、ご指導をいただいた二河成男教授（放送大学）、加藤和弘教授（放送大学）、調査を了承していただいた関係者各位に深く感謝の意を表し、御礼申し上げます。

JCM/A

## 参考文献

- 1) Savard, J. P. L., Clergeau, P., & Mennechez, G. 2000. Biodiversity concepts and urban ecosystems. *Landscape and Urban Planning*, 48 (3-4), 131-142.
- 2) Miller, J. R., & Hobbs, R. J. Conservation where people live and work. 2002. *Conservation Biology*, 16 (2), 330-337.
- 3) Fuller, R. A., Irvine, K. N., Devine-Wright, P., Warren, P. H., & Gaston, K. J. 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, 3 (4), 390-394.



図—6 計画地の緑化前後の鳥類種数ポテンシャルマップ

- 4) White, P. C. L., Gregory, K. W., Lindley P. J., & Richards, G. 1997. Economic values of threatened mammals in Britain: A case study of the otter *Lutra lutra* and the water vole *Arvicola terrestris*. *Biological Conservation* 82, 345-354.
- 5) Simberloff, 1998. Flagships, umbrellas, and keystones is single-species management passe in the landscape era. *Biological Conservation* 83: 247-257.
- 6) Sandstorm, U. G., Angelstam, P., & Mikusiński, G. 2006. Ecological diversity of birds in relation to the structure of urban green space. *Landscape and Urban Planning*, 77 (1-2), 39-53.
- 7) 原口真. 2010. 事業所の土地利用を通じてエコロジカルネットワークを意識しはじめた企業の生物多様性保全の取り組み. *日緑工誌*, 36(2), 295-298.
- 8) Chace, J. F., & Walsh, J. J. 2006. Urban effects on native avifauna: A review. *Landscape and Urban Planning*, 74 (1), 46-69.
- 9) Carbó-Ramírez, P. and Zuria, I. 2011. The value of small urban greenspaces for birds in a Mexican city. *Landscape and Urban Planning*, 100, 213-222.
- 10) 加藤和弘. 1996. 生態学の視点で見た都市・農村計画—特に「生態学的回廊」について—. *環境研究*, 98, 125-132.
- 11) Kim, K. C., & Byrne, L. B. 2006. Biodiversity loss and the taxonomic bottleneck: emerging biodiversity science. *Ecological Research*, 21, 794-810.
- 12) McDonnell, M. J., Hahs, A. K. 2008. The use of gradient analysis studies in advancing our understanding of the ecology of urbanizing landscapes: current status and future directions. *Landscape Ecology*, 23, 1143-1155.
- 13) Stagoll, K., Manning, A. D., Knight, E., Fischer, J., & Lindenmayer, D. B. 2010. Using bird-habitat relationships to inform urban planning. *Landscape and Urban Planning*, 98, 13-25.
- 14) Fontana, S., Sattler, T., Bontadina, F. and Moretti, M. 2011. How to manage the urban green to improve bird diversity and community structure. *Landscape and Urban planning*, 101, 278-285.
- 15) Jokimäki, J., & Suhonen, J. 1993. Effects of urbanization on the breeding bird species richness in Finland: a biogeographic comparison. *Ornis Fennica*, 70, 71-77.
- 16) Fernández-Juricic, E. 2000. Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape. *Conservation Biology*, 14 (2), 513-521.
- 17) Dorazio, R. M., & Royle, J. A. 2005. Estimating Size and Composition of Biological Communities by Modeling the Occurrence of Species. *Journal of the American Statistical Association*, 100 (470), 389-398.
- 18) Kéry M., Royle, J. A., Plattner, M., & Dorazio, R. M. 2009. Species richness and occupancy estimation in communities subject to temporary emigration. *Ecology*, 90 (5), 1279-1290.
- 19) Quinn, G. P. & Keough, M. J. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge University Press, 537.
- 20) 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 (5), 589-592.

【筆者紹介】

北野 雅人 (きたの まさと)  
 (株)竹中工務店  
 技術研究所 エコエンジニアリング部門  
 緑化生態環境グループ  
 研究員



深谷 肇一 (ふかや けいいち)  
 統計数理研究所  
 統計思考院  
 特任助教

