生物多様性への貢献を主眼とした企業緑地評価ツール及び 簡易生物調査ツールの性能評価

岩渕 翼^{1*}・増澤 直²・三輪 隆³・小黑 芳生⁴・
横山 潤⁵・中静 透⁴

¹ 東洋大学生命科学部 〒374-0113 群馬県邑楽郡板倉町泉野 1-1-1

² 株式会社地域環境計画 〒154-0015 東京都世田谷区桜新町 2 丁目 22-3 NDS ビル 4F

³ 株式会社竹中工務店 技術研究所 〒270-1395 千葉県印西市大塚 1-5-1

⁴ 東北大学大学院生命科学研究科 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3

⁵ 山形大学理学部生物学科 〒990-8560 山形県山形市小白川町 1-4-12

Evaluation of the tools for evaluating corporate green spaces and for simplified biodiversity survey

**Tsubasa Iwabuchi^{1*}, Tadashi Masuzawa², Takashi Miwa³, Michio Oguro⁴, Jun Yokoyama⁵,
and Tohru Nakashizuka⁴**

¹ Faculty of Life Sciences, Toyo University, 1-1-1 Izumino, Itakura-cho, Gunma, 374-0113 Japan

² Regional Environmental Planning Inc., NSS Building 4F, 2-22-3 Sakurashinmachi, Setagaya-ku,
Tokyo, 154-0015 Japan

³ Takenaka Research & Development Institute, 1-5-1 Ohtsuka, Inzai, Chiba, 270-1395 Japan

⁴ Graduate School of Life Sciences, Tohoku University, 6-3 Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai,
Miyagi 980-8578 Japan

⁵ Department of Biology, Faculty of Science, Yamagata University, 1-4-12 Kojirakawa-machi,
Yamagata, Yamagata, 990-8560 Japan

Abstract: Green spaces at business sites potentially have important roles for biodiversity in urban ecosystems, where habitats of living organisms are greatly reduced and fragmented. Japan Business Initiative for Biodiversity (JBIB) has developed three tools consisting of the guideline that explains importance and methodology of land use for biodiversity, the land use score card that quantitatively evaluates land use, and the monitoring sheet, with which non-experts can conduct a biodiversity survey. Although these tools were developed based on ecological knowledge, it was necessary to separately evaluate whether a site with high land use score actually have high biodiversity, and how reliable the data obtained by a survey by non-experts with the monitoring sheet is. Here, we conducted biodiversity surveys by non-experts with the monitoring sheet and by experts at the same time and date at eight business sites and compared the data obtained by the two survey methods. As a result, there were positive correlations between the land use scores and α -diversity, and between the α -diversities and also the β -diversities of the non-expert and the expert surveys. These results, as far as for evaluating overall biotas by α -diversity and β -diversity, validate the tools to promote land use for biodiversity enhancement at business sites.

Key Words: Green space at business site, Land use evaluation for biodiversity, Biodiversity survey, Citizen science, Urban ecosystem

* 連絡先 : iwa283@gmail.com

受付 : 2014 年 1 月 8 日 / 受理 : 2014 年 5 月 24 日

要旨：生物の生息域が大きく縮小・分断化された都市域生態系では、企業緑地が重要な役割を果たす可能性がある。企業と生物多様性イニシアティブ（JBIB）は、地域の生物多様性に貢献できる企業緑地を推進するために、生物多様性に貢献する土地利用を推進するためのガイドライン、土地利用を数値評価する土地利用通信簿[®]、専門知識がなくとも簡便な生物調査ができる生物モニタリングシートの3つのツールを開発した。これらのツールは生態学の知見を基に作られているものの、通信簿で高得点の緑地は実際に生物多様性が高いのか、非専門家がモニタリングシートを用いて得た調査データはどの程度の質・信頼性を持つのか、という2点は別途、検証する必要があった。今回、業種の異なる5社に協力してもらい、全国8事業所において専門知識のない事業所の社員によるモニタリングシートを使った調査と、環境調査会社の生物専門家による調査を同日・同時時間帯に実施し、得られたデータを比較した。その結果、通信簿点数と α 多様性、また社員による調査と専門家による調査の α 多様性および β 多様性の間にはそれぞれ正の相関関係があることが明らかとなり、 α 多様性や β 多様性といった生物相の概況を評価する上では、地域の生物多様性に貢献する企業所有地の土地利用を推進するツールとしての妥当性が確認された。

キーワード：企業緑地、土地利用評価、生物調査、市民調査、都市生態系

はじめに

国際連合の報告によれば、都市域で生活する人々の数が2008年に世界人口の5割を越えた（UNPD 2007）。特に先進国では農村地域の人口が過疎化や高齢化により減り続けており、人々の都市部への集中化は今後さらに顕著になるだろう。人間活動は様々な形で生物の生息地を消失させているが（Czech *et al.* 2000）、中でも都市開発は、最大規模の地域絶滅を引き起こし、在来種の大部分を排除してしまうことが多い（Luniak 1994；Marzluff 2001）。都市は、一般に起伏の小さい平野に発達することが多いため、氾濫原や低地性の緑地などの特定の環境を殊に減少させている（森本 2011）。それは地域の生態系の多様性を減少させることに他ならず、環境変化に対する地域全体の頑健性も損なわれていると考えられる（Mougi and Kondoh 2012；宮下ほか 2012）。生物多様性の回復のためには、大面積の緑地を確保することが重要だが（Arrhenius 1921）、小規模なものであっても、生物の移動を促す「飛び石」や「コリドー（回廊）」の役割を持つ可能性がある（Fischer and Lindenmayer 2002；Haddad *et al.* 2003；Schultz 1998；Murphy and Lovett-Doust 2004）。また、小規模であっても特徴の異なる保護区を複数設置することによって多様に富むマトリックスが形成され、多くの個体群を維持できる可能性もある（Baum *et al.* 2004；Prevedello and Vieira 2010）。公園などの公的緑地にはそうした役割が期待されるが、都市部で大きな面積を占める企業敷地内の緑地もあわせた取り組みを進めることで、保全の効果をより高めることができるだろう。しかし、都市生態系における生物多様性保全を目的として企業緑地に焦点を当てた研究は、公園や社寺林に関する研究に比べて非常に少ない。

企業敷地内の緑地は、工場緑地法などの法整備などにより、絶対量としてはかなりの面積に達する。工場の緑地面積は全国で350 km²を超え、環境施設面

積を含めるとおよそ650 km²にもなる（経済産業省地域経済産業グループ立地環境整備課 2012）。しかしこれらの緑地のほとんどは、緑地の絶対量の確保にのみ焦点があり、いかに緑化や維持に必要なコストを抑えるかといったことが優先事項となっている（増澤 2010）。そのため、外来植物が導入されていたり、緑地が分断化あるいは辺縁部に薄く（樹木が1列に並ぶなど）配置されていたりと、生物の利用場所としての機能を発揮しているとは言い難い緑地が多い。しかし一方で、企業緑地は公園などのように行政手続を経る必要がないため、企業単独の判断で手を加えることができるという利点がある。さらに、公園や社寺よりも人の出入りが少ないため、人為的攪乱が小さいという強みもある。このように、企業敷地内の緑地には、公的緑地にはないメリットがあり、その有効活用が期待される。

ここ数年、生物多様性条約第10回締約国会議（COP10）を名古屋で開催したことなどによる関心の高まりや、企業活動の持続性を考える上で生物多様性の重要性が存在感を増してきたことにより、生物多様性の保全に積極的に取り組む企業数は増加傾向にある。そうした状況を受けて「企業と生物多様性イニシアティブ（JBIB）」は、東北大学と協力して企業敷地の土地利用、とくに緑地のあり方を改善し、地域の生物多様性に貢献するための「いきもの共生事業所[®]推進ツール3点セット」を開発した（三輪 2011）。3つのツールのうち1つ目は「いきもの共生事業所[®]推進ガイドライン」と呼ばれ、企業緑地において生物多様性に配慮した土地利用や緑地作りに取り組む意義やその指針について解説している。2つ目は「土地利用通信簿[®]」と呼ばれ、地域の生物多様性への貢献という観点から企業緑地を0-100点で数値評価するツールとなっており、緑地そのものを生態学的な知見に基づいて評価する項目と、企業の取り組み内容を評価する項目を合わせた17項目で構成されている。3つ目の生物モニタリングシートは、実際にどのような生物が緑地

を利用しているのかということについて、専門知識がなくとも社員自らが生物調査を実施できるようにデザインされた生物調査ツールである。これら3つのツールはすでに数十の企業が利用しており、いきもの共生事業所[®] 推進 Web (<http://www.blunc.org>) や講習会を通じてより幅広い普及が図られている。

生物多様性に貢献する環境を評価するツールは既にいくつか開発されているが、その評価と実際の生物多様性の関連性が検証されたツールはほとんどない。そこで本研究では、土地利用通信簿[®]の点数が高いほど生物多様性は高くなるのか（課題①）、生物モニタリングシートを用いた非専門家による調査でどの程度生物相が把握できるのか（課題②）、という2つを検証・

評価するため、中部地方から九州地方にかけて合計8事業所において土地利用通信簿[®]による採点および生物調査を行い、ツールの性能と妥当性を評価した。

調査地および方法

1. 評価に用いたツール

本研究では、上記の3つのツールのうち、「土地利用通信簿[®]」および「生物モニタリングシート」を用いて、企業緑地内の生物多様性のレベルの把握に、これらツールが有効かどうかを検証した。

土地利用通信簿[®]は大きく3パートからなる(表1)。パート1は、生物多様性に貢献する環境づくりを評

表1. 土地利用通信簿[®]の評価項目と配点

	項目番号	項目名	評価内容	配点
生物多様性に貢献する環境づくり パート1	1	生物多様性に貢献する面積の大きさ	敷地内の樹林・草地の他、屋上緑化、水面、非舗装面が占める割合	10
	2	緑の構造		
	2-1	樹林の高さと階層構造	樹林の高さ、階層構造をなす要素の有無（高木層、低木層、草本層）	6
	2-2	樹林・草地の連続性	樹林から草地へのエコトーンの変化とその幅	2
	2-3	草地・芝地の構造	種構成、刈高	3
	2-4	水辺の構造	水辺の護岸方法、抽水植物の有無	5
	3	まとまりのある緑地作り	敷地内に一つの塊として存在する緑地の面積	5
	4	植生を支える土壌の厚みと土質	地盤の種類、人工地盤ではその厚さ	6
生物多様性に配慮した維持管理 パート2	5	周辺環境との調和（生態系ネットワークの創出）	周辺地域の自然環境や成り立ちに関する調査に基づいた緑地設計・管理	8
	6	地域に根ざした植生の創出	樹木や草本の地域性（地域性種苗、在来種、外来種）	3
	7	生物多様性に貢献する質の高い屋上や壁面の緑地の創出	屋上緑化の立体性、植生の種構成	5
	8	動物の生息場所や移動経路に対する配慮	小川の蛇行化や排水溝の緩斜面化など生物の生息や移動に配慮した取組	5
	9	化学物質の適切な管理	化学肥料・除草剤・殺虫剤等化学薬品の使用頻度・方法	8
コミュニケーション活動 パート3	10	水循環への配慮	貯水槽、透水性舗装の使用など雨水の有効利用や地下水涵養に配慮した水管理	3
	11	物質循環への配慮	コンポスト化や落葉・落枝の自然分解など発生材の利用	3
	12	指標生物のモニタリングの活用	緑地を利用する生物の調査の頻度と内容、および管理・設計への活用	10
	13	外来生物に対する対策	外来生物に対する管理ルール・駆除	3
	14	地域及び専門家との連携	地域のステークホルダーとの連携した取組の実施	3
	15	事業所における人材の育成と配置	生物多様性への貢献を推進する人材の育成と配置	3
	16	社員の参画	事業所の緑地を利用した社員向け環境教育の実施	3
	17	社外向けの環境教育プログラムの推進	事業所の緑地を利用した社外向けの環境教育の実施	3
合 計				100

価する。項目1～3では緑地の面積だけでなく、その階層構造や連続性、形状を評価しており、より複雑で多様な環境を持つ緑地ほど高得点になる。また項目5～8では緑地の基盤となる土壌の評価や、生態系ネットワークや地域植生への寄与などの評価を行う。パート2は生物多様性に配慮した維持管理について評価する。農薬・肥料などの化学物質の使用や水・物質の循環への配慮の取り組み、外来種対策などが含まれる。パート3にはコミュニケーション活動として、地域連携や人材育成などの協力関係や普及啓発に関する評価項目が含まれる。これらの合計17項目により緑地を多角的に評価することで、緑地の現状だけでなく、維持能力や将来性も評価に取り入れていることがこのツールの特徴である。より詳しい採点基準等については、冊子体の「いきもの共生事業所[®]推進ガイドライン」（企業と生物多様性イニシアティブ2012）を参照して頂きたい。

生物モニタリングシートは、サイズや色などの形質や指標する環境に近い生物種を「種群」に分け、その種群の在不在を記録するように作られている（表2；種名左の灰色の部分）。種群の分け方は、専門知識のない人でも調査できるように見分けやすさを重視している。例えば、キツツキはサイズにより大型と小型の2つの種群に分かれている。小型のキツツキに含まれる種は主にコゲラであり、この種は他種に比べ都市近隣の小規模な森林にも生息するといった生態学的特徴も持つため、小型か大型かによって森林の規模や特徴を指標することを想定している。また、モンシロチョウとキタキチョウのように、分類群としては近いが色によって区別した種群や、「町でよく見る鳥」としてスズメやカラスを一群にまとめるなど生息環境を重視した種群もある。ただしほとんどの分け方は機能群や分類群による分け方に順じている（表2）。また、実際の調査時の状況を考慮して、昆虫類のように比較的近距离で確認できる生物は分け方をより細かく（主に科レベル）、鳥類のように比較的遠距離でしか観察できない生物では分け方をより粗く（主に目レベル）している。こうした工夫によって、生物モニタリングシートは専門知識がなくても生物を分類することができ、また種レベルの把握はできなくても生物の利用環境として指標となる生物の組成が把握できるようにデザインされている（企業と生物多様性イニシアティブ2012）。

2. 調査の概要

本研究で実施した調査で得られたデータセットは次の3つである：(1) 土地利用通信簿[®]の点数、(2) 事業所の社員（生物の専門的教育を受けていない）によるモニタリングシートを使った生物調査結果（以下、社員調査）、(3) 生物調査の専門家による生物調査結果（以下、専門家調査）。社員調査と専門家調査は、同じ調査地点で同日・同時時間帯に実施した。これらの結果から、課題①を評価するために、通信簿の点数と α 多様性との関係を社員調査および専門家調査の両方で調べた。また、課題②を評価するために、 α 多様性および β 多様性（群集非類似度）について専門家調査の結果と社員調査の結果を比較した。社員と専門家では調査スキルが異なる上に、後述のとおり社員調査と専門家調査では調査人数が異なっているため、本研究では社員調査の結果と専門家調査の結果で α 多様性および β 多様性の絶対値が一致するかどうかではなく、相関関係が見られるかどうかで評価した。

3. 調査地・調査日

JBIBの会員企業に協力を募り、最終的には5社からの協力を得て合計8事業所で調査を行った（表3）。5社の業種には食品・化学・印刷などが含まれ、各事業所は工場または研究施設であった。調査は2012年8月7日から10月4日にかけて実施した。

生物調査では、調査対象の1事業所あたり3つの調査地点を設定した。そのうち2つは事業所の敷地内にある緑地とし、残りの1つは地域で生物多様性のソースとなる緑地（ソース緑地）として、事業所からおよそ2km以内にある公園や神社を選んだ。ソース緑地には、著者がインターネットで候補地を選定して事前に現地を下見することにより、草地や森林、水辺など多様な生息環境が混在し、かつ生物の種数が多く見られた緑地を選んだ。各調査地点は、「ひとかたまり」の緑地を1地点とした。ほとんどの調査地点は周囲が道路や建造物で区切られており、サイズはおおよそ30～50メートル四方であった。これは各調査員が調査範囲を少なくとも1回は時間内に周回できるサイズである。また後述のとおり各地点での調査は時間が限られており、生物相の正確な把握には不十分だった可能性があるが、それによるデータのバラつきを抑えるため、より多くの地点を調査した。今回は8つの事業所それぞれで3地点の調査を行ったため、合計24地点で社員調査と専門家調査

表 2. 生物モニタリングシートの抜粋

生き物の種類		チエック	種の例		生息している場所					指標となる環境
		種名	特徴・鳴き声	チエック	樹林	草地 畑 藪	湿地 水田 池 (止水域)	水路 河川 河原 (流水域)	海辺 干潟	
町でよく見る鳥		スズメ ツバメ (夏) ドバト キジバト ハシブトガラス ハシボソガラス ヒヨドリ ムクドリ	クックー クックー デッポーポー くちばしが太くおでこが出っ張る おでこが出っ張らない。少し小さい 「ピーッ ピーッ・ピーヨッ ピーヨッ」 木の上や電柱などで集団で眠る						人の住んでいるところにかいない 町中に住む。軒下や橋梁などに巣を作る 伝書鳩として飼われていたものが野生化した 別名ヤマバトだが近年は都市部でも見られる。 人の住む近くに生息 (都会に多い) 人の住む近くに生息 (田畑、森など田舎に多い) 産木の多い人家周辺や実の多い公園など 人の手が入っている環境に多い。乾燥している場所 動物の死骸やゴミを食べる。人里近くにも出てくる	
	猛禽類	トビ オオタカ ツミ チュウヒ ノスリ チョウゲンボウ	50-55cm。灰色っぽいからだ 25-20cm。おなかに縞模様 50-55cm。背は茶褐色で、腹は灰白色 50-60cm。背は褐色で腹側はクリーム色 30-40cm。雄は頭が青灰色だが雌は焦げ茶色。						最高次捕食者。餌となる多くの動物をはぐくめる豊かな自然が存在する (崖の岩穴に巣を作る。最近では鉄橋やビルなど人工建造物への営巣も確認されている)	
鳥類	フクロウ類	アオバズク (夜行性) ※鳴き声で確認する それ以外 (夜行性) ※鳴き声で確認する	「ホッホウ ホッホウ、ホッホウ ホッホウ、…」と2回ずつ単調に鳴く 「ホホホホホ」 「ホロホホホホ」 「フツキョッコ」 「ギャーウー」 (ほとんど鳴かない。)						都市の近くでも自然がある程度豊か 最高次捕食者。餌となる多くの動物をはぐくめる豊かな自然が存在する	
	キツツキ類	小型のキツツキ (スズメ程度の大きさ: 全長10-15cm前後) 大型のキツツキ (ムクドリ程度の大きさ: 全長20-30cm)	日本で一番小さなキツツキ。地味な色 後頭部が赤く。羽は黒に白の斑点 羽は緑色で東武と左右のあごあたりが赤い						一定面積の樹林が必要だが、それほど大きな樹林ではなくても生息している (都市の近くでも自然がある程度豊か) ある程度広い自然林が必要。幹が太く樹齢が大きな木があるところを好む	
	木の上にいる小型の鳥	カラ類 (スズメ程度の大きさ: 全長10-15cm前後)	平地〜低い山、都市部にもいる 低い山の林 山の林 山の林 (原始的な森)						樹林に生息する。混群を形成しながら飛ぶので、複数種からなる群れが見られたら多様性が高い	
	鳥類	その他の小型の鳥 (スズメ〜ムクドリ程度の大きさ: 全長20cm以下)	平地〜低い山、都市部にもいる 目の周りが白く体はうぐいす色 「ホーホケキョ」 スズメに似るが尾が長い 「チョッピリー・チョ、チチクイチリリ」 「ギチギチギチギチ」						平地から山地までの林。よく茂った常緑広葉樹林や藪の中 (あまり開けていないところ) 農耕地周辺の藪地、樹林の林縁などと藪の多いところ 比較的乾いた明るい林、疎林で藪が多いところ 開けた環境。肉食性で昆虫やミミズ、カエルやへびといった両生・爬虫類、鳥類、モグラやネズミなどの小哺乳類も食べる	

大型のチョウ		黒いアゲハ		アオスジアゲハ クロアゲハ モンキアゲハ カラスアゲハ ミヤマカラスアゲハ						樹林環境を好む
中型のチョウ		黄色いアゲハ		アゲハ (ナミアゲハ) キアゲハ ギフチョウ						樹林環境を好むものも開けた環境を好むものもいる
		白いチョウ (シロチョウの仲間)		モンシロチョウ スジグロシロチョウ ツマキチョウ モンキチョウ(♀)						
		黄色いチョウ (シロチョウの仲間)		キチョウ モンキチョウ(♂)						
		茶色～黒いチョウ (タテハチョウ・ジャノメチョウの仲間)		ルリタテハ ゴマダラチョウ ヒメウラナミジャノメ ツマグロヒヨウモン アカタテハ キタテハ ジャノメチョウ						
小型のチョウ		茶色くて素早く直線的に飛ぶチョウ (セセリチョウ科) とまると直角三角形のよ うな形		ダイミョウセセリ ミヤマセセリ キマダラセセリ チャバネセセリ イチモンジセセリ						小型だが飛翔力があり、周辺にソースとなるような生態系があれば出現することがある
		赤～オレンジでひら ひら飛ぶチョウ 表が青～緑で裏が白 ～茶色のひらひら飛 ぶチョウ (ジミチョウの仲間)		アカシジミ ベニシジミ ヤマトシジミ ウラナシジミ ムラサキシジミ ルリシジミ ウラギンシジミ						移動性が高くないので、その場所に食草が存在することが出現の条件となる

を行ったことになる。

4. 調査手順

社員調査では、各事業所でそれぞれ招集してもらった8～12名の社員を調査員とした。各社員は生物に対する興味や知識は様々で調査能力にも差異があると予想されたことから、調査スキルの個人差による調査結果のばらつきを抑えるために複数人数で調査することにした。事前に行った予備調査の結果を用いて、ランダムサンプリングによる調査人数と発見種群数の関係をシミュレーションしたところ、8人以上では種群数がほぼ飽和していた（岩淵・小黑 未発表）。一方で人数が増えると、それだけの人数社員を招集することが困難になること、また踏みつけなどの攪乱が大きくなることから、ここでは12人を上限とした。実際の調査では、一人ひとりにモニタリングシートを持たせて調査対象地を15分間自由に歩いてもらい、見つけた生物が当てはまる種群にチェックを入れてもらった。誤認を極力減らすために、調査開始前には必ず事前講習を行い、各種群の特徴や見分け方について説明した。専門家調査は、(株)地域環境計画に依頼して調査員を派遣してもらい実施した。各調査地において鳥の調査員1名・昆虫および地上徘徊性生物の調査員2名が、15分間に見つけた生物の種名と個体数を記録した。個体数が多すぎて計数が不可能な場合は「多」として記録した。事業所あたり3地点で生物調査を実施したため、社員調査を調査地1→2→3の順に行い、専門家調査を調査地3→1→2の順に行うことで、2つの調査チームが同じ時間帯に独立した調査を実施することができた。

5. 土地被覆率の算出

各調査地点で見られた生物は、周辺の土地利用に影響されることが考えられるため、調査地点から半径1 kmの円内の土地被覆率をArcGIS 10.0（ESRI社）を用いて算出した。土地被覆は、環境省自然環境保全基礎調査・第6～7回植生調査の2万5千分の1現存植生図によって算出した。その際、植生区分を緑地、市街地、公園・農地、水面の4カテゴリのいずれかに振り分けて、各カテゴリの被覆率を算出した。ここでは植林地を含む森林や草原を緑地として定義した。事業所周辺の土地利用は、緑地が5割を超えるものから市街地が9割を超えるものまで様々であった（表3）。また周辺土地利用の非類似度として4カテゴリの被覆率から地点間のBray-Curtis非類似度（ d_{BC} ）を次式より算出した。

$$d_{BC} = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} |y_{i,k} - y_{j,k}|}{\sum_{k=0}^{n-1} (y_{i,k} + y_{j,k})} \tag{式 1}$$

yは各土地利用カテゴリ（k）の被覆率、nはカテゴリ数、iおよびjは比較する任意の2地点を表す。

6. 解析方法

通信簿の点数は上限（100点）があることから、0-1スケールに変換後、アークサイン変換した。また土地被覆率も同様にアークサイン変換した値を解析に用いた。社員調査で得られるのは、調査員ごとのモニタリングシートの各種群の在不在データである。したがって社員調査におけるα多様性は「種群数」を、β多様性は各種群の在不在データから算出される地点間の群集非類似度（Jaccard指数、 d_j ）を指す（式2）。

表3. 調査事業所の概要
通信簿点数は、土地利用通信簿[®]の合計点数を表す。平均気温は調査地点から最も近い気象庁の気象観測所における調査時間中の平均気温を表す。

事業所					周辺土地利用内訳				調査日	平均 気温	社員調査 人数	事業所外 調査地
					(%, 半径 1km 以内)							
所有地	面積 (×10, 000m ²)	緑地率 (%)	緑地の概要	通信簿 点数	緑地	公園・ 農地	市街地	水面	2012 年			
茨木市	5.6	48.8	二次林, 芝地	62	3.8	27.7	66.0	2.5	8/31	32.1	10	公園
岩国市	52.0	19.7	疎林, ため池	56	0.1	9.9	65.1	24.9	8/7	31.5	10	公園
岡山市	18.0	21.4	草地, 疎林	38	63.0	25.9	10.2	0.9	9/11	24.7	12	神社
佐賀市	22.4	20.2	疎林, クリーク	28	0.6	47.7	39.1	12.6	8/21	30.7	9	神社
名古屋市	5.9	22.3	大半が芝地	25	8.7	8.6	75.1	7.7	9/14	29.5	9	河川敷
富士市	57.4	41.2	二次林, ため池	91	4.3	28.9	52.5	14.3	10/4	26.5	9	公園
守山市	31.1	26.9	草地, 疎林	37	8.5	27.6	61.4	2.5	9/19	28.2	8	河川敷
四日市市	62.8	10.1	二次林, クリーク	28	0.3	4.2	94.8	0.8	9/7	29.5	9	公園

$$d_j = \frac{S_{io} + S_{oj}}{S_{io} + S_{oj} + S_{ij}} \quad (式2)$$

S_{io} は調査地 i のみで見つかった種数, S_{oj} は調査地 j のみで見つかった種数, S_{ij} は調査地 i と j の両方で見つかった種数を表す。専門家調査では各種の個体数データを得た。したがって専門家調査における α 多様性は種数を指している。 β 多様性では、社員調査の β 多様性指標と評価単位を揃えるため、個体数データを存在不在データに変換してから算出した群集非類似度 (Jaccard 指数) を用いた。

まず課題①を検証するために、応答変数を種群数 (社員調査) または種数 (専門家調査) とした一般化線形混合モデル (GLMM, ポアソン分布) を用いたモデル選択を行った。固定効果には土地利用通信簿[®] の点数、土地被覆率、気温を用いた。ランダム効果には事業所と調査員 (社員調査のみ) を入れた。調査日は事業所ごとに分けられているため、省略した。モデル選択は、総当りによる AIC 比較を行い、AIC が最小のモデルからの ΔAIC が 2 以下のモデルを採択モデルとした。採択モデルが複数ある場合は、全採択モデルに共通する説明変数を採択されたものとみなした。ただし、採択された説明変数間に多重共線性が疑われた場合 (ここでは VIF 値 10 以上とした) には、その説明変数を除外して再度モデル選択を実施した。

課題②を検証するため、専門家調査の総発見種数を応答変数、社員調査の総発見種群数を固定効果、事業所をランダム効果とした GLMM (ポアソン分布) を用いたモデル選択を行った。次に、調査地点間の群集非類似度 (Jaccard 指数) を社員調査および専門家調査それぞれについて算出し、得られた 2 つの Jaccard 指数どうしの相関を調べるために、マンテル検定を行った (9999 回試行)。さらに、社員調査または専門家調査の群集非類似度と土地利用通信簿[®] の点差との相関を調べるために、地理的距離および周辺土地利用の非類似度 (Bray-Curtis 指数) の影響を制御した偏マンテル検定を行った (9999 回試行)。

生物調査の専門家と、専門知識の無い社員では、調査スキルに大きな違いがあるはずである。生物の見つけやすさや判別しやすさによってその違いの大小は異なると予想された。そこで、今回の生物モニタリングシートを使った調査でスキルの差がどのように現れるのかを明らかにするため、調査データから記録数の多かった鳥類と昆虫類を対象を絞り α 多

様性の違いを検証した。具体的には、鳥類および昆虫類それぞれの社員調査の種群数と、専門家調査の種数をモニタリングシートの分け方にならって種群に分け直して得た種群数との違い調べるために尤度比検定を行った。

また、社員調査では各調査員は存在不在データしか取らないが、同じ場所を複数人で調査するため、発見率を生物量 (個体数) の指標として利用出来る可能性がある。これを検証するため、まず専門家調査のデータをモニタリングシートの分類に合わせて種群に振り分け、同じ種群の個体数の和を各種群の個体数とした。個体数が多く計数が不可能だったため「多」と記録した種群はこの解析からは除外した。このデータセットと社員調査の各種群の発見率 (アークサイン変換した値) との相関を、ピアソンの積率相関係数に対する t 検定により調べた。

解析は全て R 3.01 (R Development Core Team 2013) を用いて行った。なお、土地利用通信簿[®] の評価項目のうち、パート 3 の評価項目は、将来的に生物多様性に貢献する可能性はあるが、調査時点での緑地や生物多様性に直接寄与するとは考えにくい。そのため、土地利用通信簿[®] の総点からパート 3 の点数を差し引いた点数を用いて上記の一連の解析を行ったが、結果に大きな違いは見られなかった。そのため以降ではパート 3 の点数を含めた総点での結果を示す。

結果

1. 調査結果の概要

社員調査では、延べ 76 名の社員が調査を行い、モニタリングシートのチェックの総数、すなわち総記録回数は 2598 回に上った。1 回以上記録された種群数は 71 で、そのうち鳥類が 14、昆虫類は 36、クモ類 2、土壤動物 5、爬虫類 3、両生類 3、軟体動物 2、魚類 3、その他の水生動物 6 であった。一方専門家調査では、延べ 3000 個体以上が記録された。総種数は 233 種類で、そのうち鳥類が 39、昆虫類が 176、クモ類 8、土壤動物 1、爬虫類 3、両生類 4、魚類 1、哺乳類 1 であった。各調査地点の発見種数および種群数を図 1 に示す。ソース緑地よりも事業所敷地内の緑地の方が種数・種群数が多かった事業所もあった。

2. 土地利用通信簿[®] と発見種数・種群数の関係

土地利用通信簿[®] の点数と発見種群数 (社員調査) または発見種数 (専門家調査) の関係を図 2 に示す。

GLMM のモデル選択の結果、選択されたモデルのほぼ全てにおいて通信簿の点数が有意な正の固定効果として入っており、モデルの説明率は 50%前後だった（表 4、表 5）。これらのことから、社員調査でも専門家調査でも土地利用通信簿[®]の点数が高くなるほど α 多様性が高くなることが示唆された。

3. 社員調査と専門家調査の関係

(1) α 多様性

社員調査の発見種群数と専門家調査の発見種数の関係についてモデル選択を行った結果、社員調査の発見種群数と専門家調査の発見種数との間には有意な正の関係が見られた。モデルによる逸脱度の説明率は 28.2%だった。これらの結果から、社員調査で種群数が多かった調査地は、専門家調査でも種数が多かったことが示された（表 6）。

(2) β 多様性

社員調査と専門家調査の群集非類似度（Jaccard 指数）の関係を図 3 に示す。マンテル検定の結果、両者には正の関係が認められた（マンテル相関係数 0.38, $p<0.05$ ）。このことは、群集非類似度においても社員調査でも専門家調査と同様の傾向を持つ調査データが得られていたことを示唆する。また、土地利用の非類似度と地理的距離の影響を制御した偏マンテル検定の結果、通信簿の点差と群集非類似度との間には社員調査でも専門家調査でも正の関係が見られた（社員調査：偏相関係数 0.32, $p<0.05$ ；専門家調査：偏相関係数 0.21, $p<0.05$ ）。この結果は、地点間の通信簿の点差が大きいほど生物の群集構造の違いも大きくなることを示唆している。

4. 社員調査と専門家調査の差異

(1) 鳥類と昆虫類における差異

鳥類と昆虫類について、社員調査の発見種群数と専門家調査の発見種群数（種数から変換）の関係をプロットしたのが図 4 である。昆虫類では 1:1 の直線よりも上に分布が偏っているのに対し、鳥類では 1:1 の直線を中心に分布していることが分かる。尤度比検定の結果、昆虫類では社員調査の発見種群数の方が専門家調査の発見種群数よりも有意に大きかった（ $X^2=44.4$, $p<0.05$ ）が、鳥類では両者の間に有意差はなかった（ $X^2=2.3$, $p>0.05$ ）。同じ「種群」で比較した場合、「目の数」の多い社員調査の種群数は専門家調査の種群数より大きくなることが予想される。昆虫ではこの予想と一致する結果が得られたにもかかわ

らず、鳥類ではほぼ 1:1 の関係になったことは、社員調査による鳥類相の把握能力が昆虫に比べて低いことを示唆している。

(2) 2つの調査における差異の要因

ピアソンの積率相関係数に対する t 検定の結果、社員調査における各種群の発見率は、社員調査における個体数と正の相関があることが示唆された（ $r=0.245$, $t=10.27$, $p<0.05$ ）が、バラツキは非常に大きくなっていった（図 5）。事実、発見率が 100%であった種群について、専門家調査での個体数を見てみると、実際に個体数の多かった場合と個体数が少なかった場合とに明瞭に二極化していることが分かった（図 6）。このことは、発見率は必ずしも個体数を反映しないことを示唆している。また、専門家調査では個体数が少なかった種群の内訳を見てみると、発見が容易かつ移動しない生物（クモ）や、発見が容易かつ一定範囲を周回する生物（チョウ、トンボ）、鳴き声から定位が容易な生物（セミ）がその大半を占めていた。このことから、社員調査の発見率は実際の個体数だけでなく発見しやすさに大きく左右されることが分かった。

考察

本研究では、生物多様性に貢献する緑地・土地利用を評価する土地利用通信簿[®]の点数と実際の生物多様性に関係が見られるかどうか（課題①）、そして生物モニタリングシートによる調査でどの程度生物相が把握できるのか（課題②）、という 2 つを評価した。まず課題①については、土地利用通信簿[®]の点数と α 多様性との間には説明率がおおよそ 50% で正の関係があり、さらに群集非類似度（ β 多様性）と土地利用通信簿[®]の点差の間にも社員調査で 0.32、専門家調査で 0.21 の偏相関係数を持つ正の相関があったことから、土地利用通信簿[®]の点数が企業所有地の生物の利用場所としての価値を評価できていることが示唆された（表 4、図 2）。また同時に、土地利用通信簿[®]の評価内容や配点の妥当性を担保する結果と言える。

課題②については、専門家による調査との比較により生物モニタリングシートを使った調査の性能を評価した。その結果、 α 多様性についても β 多様性についても社員調査と専門家調査には正の関係が認められ、生物モニタリングシートを使った調査でも調査地の生物相を把握できることが明らかになった。このことは、簡易生物調査ツールとしての生物モニ

図 1. 各調査地点の発見種群数 (社員調査) および種数 (専門家調査). 「内₁」「内₂」は事業所内の調査地点, 「外」は事業所外の調査地点を表す.

図 3. 専門家調査と社員調査の群集非類似度の関係. 非類似度は両者とも jaccard 指数.

図 4. 昆虫類および鳥類の発見種群数の専門家調査と社員調査の関係.

図 2. 土地利用通信簿®の点数と (a) 発見種群数 (社員調査) または (b) 発見種数 (専門家調査) の関係. 社員調査のデータ点はそれぞれ調査員 1 人を表す.

図 5. 各種群の発見率 (社員調査) と個体数 (専門家調査) の関係.

図 6. 社員調査で発見率 100% の種群における専門家調査での個体数とその頻度 (種群数).

表 4. 発見種群数 (社員調査) を応答変数とした GLMM のモデル選択により選択されたモデル. 固定効果の数値は係数を表す (ポアソン回帰). ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$. 第 5 位モデルの通信簿点数の計数は有意でないと判定されたが、 p 値は 0.061 であった。

モデル 順位	切片	固定効果						df	ΔAIC	逸脱度 説明率 (%)
		通信簿 点数	緑地率	公園・ 農地率	市街地 率	水面率	気温			
1	2.33***	0.47**			-0.26*			5	0.0	53.9
2	2.12***	0.58**						4	0.7	53.1
3	2.32***	0.40*			-0.24	0.46		6	0.9	54.2
4	2.11***	0.47*				0.64		5	1.2	53.5
5	2.04***	0.36		0.48		0.70		6	1.7	54.0
6	2.41***	0.43*	-0.14		-0.32			6	1.7	53.9
7	1.99***	0.37*	0.28	0.51		0.82		7	1.8	54.5
8	2.06***	0.48*	0.31			0.78		6	2.0	53.9
9	2.24***	0.47**			-0.27*		0.00	6	2.0	53.9
10	2.31***	0.47**		0.06	-0.24			6	2.0	53.9

表 5. 発見種数 (専門家調査) を応答変数とした GLMM のモデル選択により選択されたモデル. 固定効果の数値は係数を表す (ポアソン回帰). ***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$. 第 7 位モデルの通信簿点数の計数は有意でないと判定されたが、 p 値は 0.063 であった。

モデル 順位	切片	固定効果						df	ΔAIC	逸脱度 説明率 (%)
		通信簿 点数	緑地率	公園・ 農地率	市街地 率	水面率	気温			
1	2.92***	0.43*		0.52				3	0.0	49.9
2	3.00***	0.5***						2	0.0	40.6
3	3.14***	0.45*			-0.18			3	0.7	46.8
4	3.39***	0.49*					-0.01	3	1.6	42.4
5	2.98***	0.54**	0.13					3	1.7	41.9
6	3.21***	0.41*		0.50			-0.01	4	1.8	50.9
7	2.91***	0.38		0.52		0.26		4	1.8	50.8
8	3.00***	0.48*				0.24		3	1.8	41.4
9	2.91***	0.44*	0.07	0.50				4	1.9	50.3
10	2.96***	0.42*		0.45	-0.04			4	2.0	50.1

表 6. 専門家調査の発見種数を応答変数とした GLMM のモデル選択の結果. 固定効果の数値は係数を表す (ポアソン回帰). ***: $p < 0.001$

モデル順位	切片	固定効果 種数 (社員調査)	df	ΔAIC	逸脱度 説明率 (%)
1	2.48***	0.03***	5	0.0	28.2
2	3.38***		4	13.5	

タリングシートの有効性を示している。ただし α 多様性の解析で選択されたモデルによる逸脱度の説明率は28.2%(表6), β 多様性のマンテル相関係数は0.38(図3)と高いとは言えなかった。その対策として、生物を探す際の見るべきポイント(例えば葉の裏や木陰)など、種判別方法以外のトレーニングを事前講習に盛り込むことや、今回の結果を利用して説明率や相関係数が高くなるようにモニタリングシートのグループ分けを見直すことが考えられる。

一方で、生物モニタリングシートを使った調査の問題点もいくつか見出された。まず、社員調査は鳥類の把握能力が昆虫類に比べて低かった(図4)。これは社員と専門家の調査スキルの差が如実に現れた結果と考えられる。というのも、専門家は例え姿が見えなくとも鳴き声で鳥類を簡単に同定することができるし、飛び立った時の一瞬のシルエットでも同定できる場合があるからである。しかし、専門知識が無ければこうしたケースでは種群を判別することは困難である。したがって、生物モニタリングシートは鳥類を調査するツールとしては昆虫類を対象にした場合に比べて性能が劣ると言える。ただし前述のように鳥類の方が昆虫よりも高次レベルで種群に分類されており、モニタリングシートに含まれる種群の絶対数も少ないために、社員調査と専門家調査の差を検出しにくいという可能性も否定出来ない。調査対象を絞ると記録可能な種群の総数が少なくなるため、調査地間の差異を検出しにくくなる。分類群による調査能力の差異が認められつつも、全体としては通信簿点数や専門家調査の種数と正の関係が認められたことも考慮すると、生物モニタリングシートは、分類群を限定せずに様々な分類群を対象とした調査に使用し、生物相の全体像を大まかに把握するためのツールとして捉えるべきであろう。

次に、生物モニタリングシートの発見率が必ずしも個体数を反映しておらず、生物量を把握するためのツールとしては不向きであることが示された(図6)。発見率には発見しやすさが大きく関与している可能性が大きかったことから、このシートはあくまで在・不在データを得るためのツールとして扱われるべきであることが示唆された。

本研究では社員には業務時間中に調査を行ってもらったため、時間上の制約などから社員による種群同定の正確性を検証することができなかった。しかしFore *et al.* (2001)は淡水性の大型底生無脊椎動物を対象に科レベルで同定したボランティアによる調

査データと、属または種レベルで同定した専門家による調査データを比較したところ、両者の α 多様性の間には強い相関があり、また同定の正確性は13%しか変わらなかったと報告している。またKremen *et al.* (2011)は、花粉媒介昆虫を対象に同様の比較を行ったところ(ボランティアは目レベル)、やはり専門家調査との間に α 多様性について強い相関が見られたと報告している。生物モニタリングシートでは専門知識がなくとも分かりやすい特徴を用いて科・目レベルでの種群分けを行っており、また事前講習を行うなどの工夫を施しているため、誤認率は低く抑えられていると考えられる。

また、おそらく最も重要なこととして、種数や種群数などの α 多様性は、生物多様性の指標として広く用いられているものの、その組成も合わせて把握する必要があることは常に念頭に置いておくべきである。つまり α 多様性の大小だけでは、それが希少種によるものなのか、外来種によるものなのかを判断することができない。希少種や絶滅危惧種は時折市街地に出現することがあり(Kendle and Forbes 1997; Godefroid 2001)、企業緑地がこうした生物の貴重な生息場所になっている可能性がある。実際に専門家調査では、環境省の第4次レッドリストで準絶滅危惧種に指定されているチュウサギやトノサマガエルが企業緑地で見つかっている(環境省2012)。地域の希少種の保全活動として企業緑地を活用する取組も広がりを見せており(服部2007)、これを企業のCSR活動の一環として組み込むこともできる。また一方では侵略的外来種の巣窟になっている企業緑地もあるかも知れない。多くの工場では調整池が設置されているが、それらにウシガエルやミシシippアカミミガメが生息する可能性は十分にある。こうした状況を見過ごさないために、生物モニタリングシートによる調査に加えて、散発的にでも専門家による調査を実施すべきであろう。

都市域では、もともとの生態系が大きく破壊されているだけでなく、都市に適応できた種のみ多くなる傾向が強い(McKinney 2006)。そのような種はたいがい移入種であるために都市域の生物相は従来とは違った姿になっていることが多く、都市に住む人々はもともと生息していた在来種との触れ合いが減り、結果として彼らの生物多様性や地域性への意識の向上を妨げている(McKinney 2006)。人口密集地域における地域の自然には、社会的・教育的な価値がある(Miller and Hobbs 2002)。企業緑地を生物多様性が豊

かな生態系にすることで、地域社会に新たな価値を提供することにつながるかも知れない。いきもの共生事業所[®]推進ツール3点セットには、こうした社会貢献や環境コミュニケーションの意図も組み込まれている（企業と生物多様性イニシアティブ2012）。

結論

土地利用通信簿[®]の点数と α 多様性との間には正の関係があることが示された。また専門知識のない調査員による生物モニタリングシートを使った調査でも、 α 多様性および β 多様性という観点においては生物相の把握が可能であることが示された。評価ツールとしての妥当性を裏付ける結果が得られたことは、今後このツールをより多くの企業に普及させていくための一つの成果と位置付けられるだろう。また今後さらに調査を実施しデータを蓄積することで、土地利用通信簿[®]の点数配分のチューニングや生物モニタリングシートの種群の分け方の改善などさらなる改良が可能になるだろう。

謝辞

本研究を行うにあたりご協力頂いた皆様には心から御礼申し上げます。調査地となった各事業所職員の皆様には調査のスムーズな進行にご協力頂いた。土地利用通信簿[®]を始め3つのツールを開発した下記JBIB 持続的土地利用WGのメンバーには本研究に様々なご助言を頂いた：飯田慎一氏（パナソニック㈱）、伊藤俊哉氏（住友林業緑化㈱）、浦嶋裕子氏（三井住友海上火災保険㈱）、木村幹子氏（対馬市）、久保達哉氏（JSR ㈱）、杉本信幸氏（味の素㈱）、瀬能靖弘氏（凸版印刷㈱）、高見謙氏（帝人㈱）、竹内和也氏（三菱地所㈱）、竹内恵子氏（㈱グリーン・ワイズ）、田畑真理氏（大阪ガス㈱）、寺内孝夫氏（大日本印刷㈱）、永戸優子氏（凸版印刷㈱）、中村博一氏（大阪ガス㈱）、林豊氏（清水建設㈱）、原口真氏（㈱インターリスク総研）、原田佳幸氏（イオンリテール㈱）、平井宗男氏（旭化成㈱）、細見弘明氏（旭化成㈱）、本名浩氏（帝人㈱）、三宅茂氏（イオンリテール㈱）、宮本昌宏氏（JSR ㈱）、矢田明彦氏（富士ゼロックス㈱）（50音順）。茨城大学の菊池佐智子氏および東北大学の高野宏平氏には土地利用解析について貴重な助言を頂いた。本研究は日本学術振興会グローバルCOEプログラムJ03の助成を受けて行った。

引用文献

- Arrhenius, O. 1921. Species and area. *Journal of Ecology* 9: 95-99.
- Baum, K. A., Haynes, K. J., Dilleuth, F. P. and Cronin, J. T. 2004. The matrix enhances the effectiveness of corridors and stepping stones. *Ecology* 85: 2671-2676.
- Czech, B., Krausman, P. R. and Devers, P. K. 2000. Economic associations among causes of species endangerment in the United States. *Bioscience* 50: 593-601.
- Fischer, J. and Lindenmayer, D. 2002. The conservation value of paddock trees for birds in a variegated landscape in southern New South Wales. 2. Paddock trees as stepping stones. *Biodiversity Conservation* 11: 833-849.
- Fore, L. S., Paulsen, K. and O'Laughlin, K. 2001. Assessing the performance of volunteers in monitoring streams. *Freshwater Biology* 46: 109-123.
- Godefroid, S. 2001. Temporal analysis of the Brussels flora as indicator for changing environmental quality. *Landscape and Urban Planning* 52: 203-224.
- Haddad, N. M., Bowne, D. R., Cunningham, A., Danielson, B. J., Levey, D. J., Sargent, S. and Spira, T. 2003. Corridor use by diverse taxa. *Ecology* 84: 609-615.
- 服部保. 2007. 工場緑化と生物多様性 ～緑化の新しい視点～. *ビオトープ* 19: 3-5
- Kendle, T. and Forbes, S. 1997. *Urban nature conservation: landscape management in the urban countryside*. 352pp. E & FN Spon, London.
- 環境省. 2012. 第4次レッドリスト. http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_top.html
- 経済産業省地域経済産業グループ立地環境整備課. 2012. 工場立地法に関する最近の動向（特集 地域環境と工場緑化）. *グリーン・エージ* 39: 16-19.
- 企業と生物多様性イニシアティブ. 2012. いきもの共生事業所[®]推進ガイドライン. 第2版 68pp. 東北大学生態適応グローバルCOE.
- Kremen, C., Ullmann, K. S., and Thorp, R. W. 2011. Evaluating the quality of citizen-scientist data on pollinator communities. *Conservation Biology* 25: 607-617.
- Luniak, M. 1994. The development of bird communities in new housing estates in Warsaw. *Memorabilia*

- Zoologica 49: 257-267.
- Marzluff, J. M. 2001. Worldwide urbanization and its effects on birds. *Avian Ecology in an Urbanizing World*. (Marzluff, J. M., Bowman R. and Donnelly R. eds.), 19-47. Kluwer, Norwell, MA.
- McKinney, M. L. 2006. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*. 127: 247-260.
- Miller, J. R. and Hobbs, R. J. 2002. Conservation where people live and work. *Conservation Biology*. 16: 330-337.
- Murphy, H. T. and Lovett-Doust, J. 2004. Context and connectivity in plant metapopulations and landscape mosaics: does the matrix matter? *Oikos* 105: 3-14.
- 増澤直. 2010. 民間企業事業所緑地の生物多様性ポテンシャル評価の試行. *日本緑化工学会誌* 36: 390-391.
- 三輪隆. 2011. 企業緑地の生物多様性評価と防災. *日本緑化工学会誌* 37: 286-287.
- 宮下直・井鷲裕・千葉聡. 2012. 生物多様性と生態学: 遺伝子・種・生態系. 176pp. 朝倉書店, 東京.
- 森本幸裕. 2011. 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.
- Mougi, A. and Kondoh, M. 2012. Diversity of interaction types and ecological community stability. *Science*. 337: 349-351.
- Prevedello, J. A. and Vieira, M. V. 2010. Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. *Biodiversity and Conservation*. 19:1205-1223.
- R Development Core Team. 2013. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Schultz, C. B. 1998. Dispersal behavior and its implications for reserve design in a rare oregon butterfly. *Conservation Biology*. 12: 284-292.
- UNPD. 2007. World urbanization prospects: The 2007 revision. United Nations Population Division, New York.