

島の生物地理学理論の応用による 都市緑地のチョウ類多様性評価*

今井 長兵衛**

キーワード

- ① Area of habitat ② Biological diversity ③ Butterfly
④ Distance from mountain ⑤ Island biogeography ⑥ Urban green

Abstract

Applying the island biogeography theory to highly urbanized areas, urban greens, urbanized area and neighboring mountain can be compared to islands, ocean and continent, respectively. Relations between species richness i.e. number of species of butterflies and environmental factors were examined in island greens in and around Osaka City, Central Japan. Species richness (s), ranging from 6 to 33 among 10 greens, showed a positive correlation with green area (A ha), and a negative correlation, although not significant at 5% level, with distance (D km), from the nearest mountain. Species richness could be predicted by the following equation; $S = 9.32 \log A - 0.457D + 11.2$. A new method for evaluating biodiversity of a given green in the same locality was proposed on the basis of the above equation.

1. 緒 言

近年、チョウ類は開発や都市化によって衰退しつつあり、生息地の保護やビオトープの建設が焦点の課題である。この課題に答えるべき保全生態学分野では、生息地パッチにおける生物保護への島の生物地理学理論¹⁾の応用が試みられてきた^{2,3)}。

著者は大阪市とその周辺のいくつかの緑地でチョウ類の生息状況を調査してきた⁴⁻⁷⁾。同地域のチョウ相は他の研究者にもよく調査され⁸⁻¹²⁾、緑地間の種数の比較が可能である。

本論文では、大阪市とその周辺の緑地におけるチョウ類の種数と環境条件との関連を検討し、島の生物地理学理論の適用を試みる。また、その結果に基づき、個別緑地のチョウ類多様性評価手法

を提案する。

2. 方 法

2.1 用いたチョウ相のデータ

チョウ類の種数は、大阪市住之江区北加賀屋公園(今井, 未発表), 鶴見区鶴見緑地⁴⁾, 住之江区万代池公園⁶⁾, 天王寺区真田山公園⁶⁾, 住之江区南港エルシティ南港⁷⁾, 西区鞆公園¹²⁾, 東住吉区長居公園⁸⁻¹⁰⁾, 中央区大阪城公園¹¹⁾, 大阪府豊中市・吹田市服部緑地¹¹⁾, 堺市・松原市大泉緑地¹¹⁾, 交野市大阪市大植物園⁵⁾, 奈良県橿原市箸喰⁸⁾で調べられたものをを用いた。

さらに、大阪城公園1995~1996年調査, および鶴見緑地2003~2004年調査で確認したチョウの種数(今井, 未発表)を緑地の生物多様性評価に用い

*Evaluation of Butterfly Diversity among Urban Greens in Application of Island Biogeography Theory

**Chobei IMAI (大阪市立環境科学研究所) Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences

た。

2.2 緑地の環境条件

緑地面積は都市公園一覧表¹³⁾、大阪府営都市公園¹⁴⁾、関西電力の資料によった。

樹木率は、それぞれの緑地が含まれる1 km および5 km メッシュの樹木率を Landsat 画像から求め¹⁵⁾、緑地の近傍とやや遠方までを含む周辺環境の指標として用いた。1 km メッシュには行政管理庁告示に基づく標準地域3次メッシュを、5 km メッシュには2万5千分の1地形図を縦横各2等分したものを用いた。緑地が複数の1 km メッシュに含まれる場合は、当該緑地を含むすべてのメッシュの樹木率を平均した。また、緑地の樹木面積を1万分の1地形図より読みとり、樹木率を求めた。

山からの距離と近接する緑地からの距離は地図から読みとった。

3. 結 果

3.1 緑地の環境条件とチョウの種数

交野市と箸喰を除く10カ所の緑地の環境条件とチョウ類の種数を **Table 1** に示す。これらは市街地に周囲を囲まれ、他の緑地から孤立した生息地パッチ=生態学的島と考えられる。それに対し、大阪府交野市(チョウ類確認種数47種)と1970年代の奈良県箸喰(確認種数44種)は市街地より自然度の高い広大な地域、すなわち種の供給地=生態学的大陸の一部と考えてよからう。

3.2 単回帰による解析

3.2.1 各要因と種数との相関

Table 1 に示した各要因について、面積は対数変換、樹木率は arcsin 変換してから、種数との相関を調べた。結果は **Table 2** に示すように、面積、1 km メッシュ樹木率、5 km メッシュ樹木率が種数との間に正の相関を示した。また、統計的に有意とはいえない(p=0.105)が、山からの距離と種数はかなり高い負の相関を示した。面積10ha以上の緑地との距離が遠いほど種数が多い

Table 1 Environmental condition and number of butterfly species in ten island greens

Green	Area (ha)	Rate of wooded area in			Distance (km) from nearest			Number of butterfly species
		Green	1 km mesh around green	5 km mesh around green	Green with area		Mountain	
					>10 ha	>50 ha		
① Kitakagaya	2.0	0.60	0.00	0.01	0.9	3.2	15.5	6
② Mandaiike	4.3	0.27	0.01	0.03	1.4	1.4	11.6	10
③ Sanadayama	5.3	0.25	0.02	0.007	1.2	1.2	11.4	13
④ Utsubo	9.7	0.60	0.06	0.01	2.1	2.1	14.2	16
⑤ EL City Nanko	50.0	0.27	0.01	0.04	2.7	8.7	21.3	20
⑥ Osaka Castle	108.0	0.35	0.24	0.03	4.2	4.2	11.3	15
⑦ Nagai	65.7	0.41	0.08	0.03	3.5	3.5	10.0	28
⑧ Tsurumi	72.0	0.35	0.31	0.04	4.2	6.1	6.1	26
⑨ Oizumi	88.0	0.43	0.20	0.05	0.6	2.9	9.0	23
⑩ Hattori	126.0	0.33	0.31	0.11	3.5	3.5	5.8	33

Table 2 Correlation coefficient (r) between species richness (S) and environmental factors

Factor	Variable	r	p	Regression equation
Area (ha) of green, A	log A	0.836	0.003	S = 10.6 log A + 4.09
Rate of wooded area				
in green, p	arcsin \sqrt{p}	-0.210	0.560	
in 1 km mesh area around green, p	arcsin \sqrt{p}	0.732	0.016	S = 28.3 arcsin \sqrt{p} + 10.4
in 5 km mesh area around green, p	arcsin \sqrt{p}	0.777	0.008	S = 88.9 arcsin \sqrt{p} + 3.25
Distance (km) from nearest				
green with an area of ≥ 10 ha	D	0.573	0.084	
green with an area of ≥ 50 ha	D	0.340	0.337	
mountain	D	-0.542	0.105	S = 30.7 - 1.01D

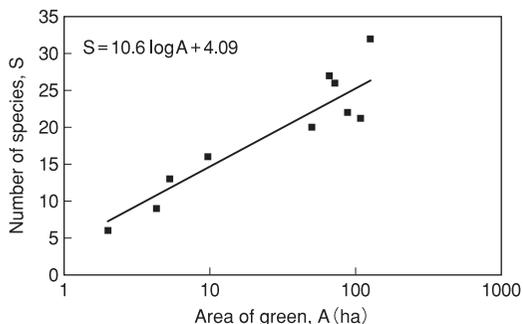


Fig. 1 Relationship between species richness and area of green.

傾向がうかがえた($p=0.084$)が、生態学的な意味付けができないので、種数に影響を及ぼす要因として取り上げなかった。

3.2.2 緑地の面積と種数

緑地面積 A と種数 S との関係を Fig. 1 に示す。両者の関係は、 $2 \leq A \leq 126$ の範囲で、 $S=10.6 \log A+4.09$, d. f.=8, $r=0.836$, $p=0.003$ という式で近似できた。

3.2.3 緑地の樹木率・樹林面積と種数

緑地の樹木率は、種数との間に相関を示さなかった。樹木率が高くても面積が狭ければ種数が増えないという、当然の結果であろう。

対数変換した樹林面積(緑地面積×緑地樹木率)と種数との相関係数は0.821で、統計的に有意であったが、対数変換した緑地面積と種数との相関係数より低かった。このことは、樹林単独より、樹林に草地や裸地なども含めた空間的広がりの方がチョウの種数に強く影響することを示唆する。

3.2.4 緑地周辺の樹木率と種数

1 km メッシュ樹木率および5 km メッシュ樹木率と種数との関係は、バラツキは大きいものの、正の傾きを持つ一次式で有意に近似できた。このことは、樹木率で代表される自然環境が豊かな地域にある緑地ほど、チョウ類の種数が多くなることを示唆する。

3.2.5 山からの距離と種数

山からの距離と種数との関係を Fig. 2 に示す。山から遠ざかるにつれて種数が少なくなる傾向が窺える。

3.3 重回帰分析

種数の変動に寄与していると考えた4要因につ

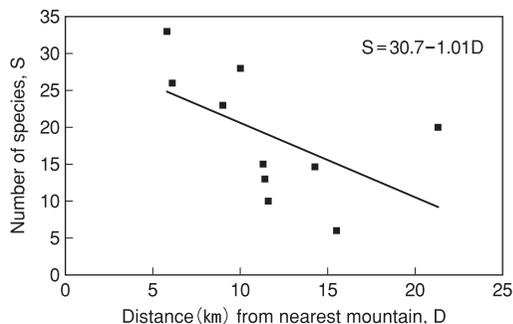


Fig. 2 Relationship between species richness and distance from nearest mountain.

いて、要因相互間の相関の有無を検討した。有意な相関がなかったのは、緑地面積と山からの距離、および5 km メッシュ樹木率と山からの距離の2組だけであった。そこで、これら2組の要因を用いて重回帰分析を行った。

結果は Table 3 に示すとおりで、緑地面積と山からの距離との重回帰は、補正決定係数が単回帰における補正決定係数より高かったため、統計的に有意と考えられた。しかし、5 km メッシュ樹木率と山からの距離との重回帰は統計的に有意ではなかった。

したがって、緑地面積と山からの距離による重回帰だけが有意となり、種数 S は

$$S = 9.32 \log A - 0.457D + 11.2$$

の式で表すことができた。

4. 考 察

4.1 種数に対する島の生物地理学の適用

島の生物地理学理論¹⁾は、パッチ状に分布する生息場所における生物保護の問題にも応用されてきた。生息に不適な場所に取り囲まれた生息場所を海洋の中の島に類比し、生息場所の面積や質、

Table 3 Result of multivariate analysis

Factor	R ²	Adjusted R ²	P	Regression equation
(1) and (3)	0.749	0.678	0.008	$S=9.32 \log A-0.457D+11.2$
(1) only	0.699	0.661	0.003	
(2) and (3)	0.646	0.544	0.027	
(2) only	0.604	0.554	0.008	

S: species richness. (1)A: area (ha) of green, (2)p: rate of wooded area in 5km mesh area around green, (3)D: Distance (km) from nearest mountain

他の生息場所からの隔離の程度、他種の有無などが生物の移入や消滅にどのように関係するかが検討されている^{2,3)}。

大阪市のように都市化が激しい地域では、緑地は市街地という海の中に浮かぶ島であり、周辺の山地は種の供給源としての大陸に類比することができる。

4.2 都市緑地における面積-種数関係

従来、面積-種数関係には、多くのモデルが提案されているが、木元と武田¹⁶⁾によると、

$$\text{対数正規則モデル } S = bA^k,$$

$$\text{対数級数則モデル } S = c \log A + d$$

のいずれかに集約されるという。ここで、 S は種数、 A は面積、 b 、 c 、 d 、 k は定数である。

対数正規則モデルはガラパゴス諸島の陸上植物¹⁷⁾、西インド諸島の両生・は虫類¹⁾、ビスマーク諸島の陸生・淡水性鳥類¹⁸⁾など、多くの生物群に適合している。

チョウ類では、白水¹⁹⁾のデータを用いた木元²⁰⁾の解析があり、日本列島における種数-面積(km^2)関係が、面積 $20 \sim 10,000 \text{km}^2$ の範囲で対数正規則モデルに適合することを明らかにしている。

一方、対数級数則モデルは比較的狭い面積における面積-種数関係に適合する¹⁶⁾。たとえば、顕花植物の種数と面積の関係は面積 $10 \text{cm}^2 \sim 1 \text{ha}$ の範囲で対数級数則に適合し、 $1 \text{ha} \sim 10^7 \text{km}^2$ の範囲で対数正規則に適合する²¹⁾。

大阪の市街地では、緑地面積 A (ha)とチョウ類の種数との関係は $2 \leq A \leq 126$ の範囲で対数級数則に適合した。日本産チョウ類でも、比較的大面積では対数正規則、小面積では対数級数則に適合するといえよう。

4.3 都市緑地における隔離-種数関係

生息場所がパッチ状に分布する場合、面積や食草などの環境条件が同じなら、種の供給地としての広大な生息場所やより大きなパッチ、あるいは移動の際の飛び石としてのより小さなパッチからの距離が短いほど種数が多くなると予測される¹⁾。

今回の結果では、面積 10ha 以上、および 50ha 以上の最寄りの緑地からの距離は、種数との間に負の相関を示さなかった。このことは、他の緑地への種の供給源になるような有力な緑地が現在の

大阪市には存在しないことを示唆する。意識的なビオトープ建設などにより、生息場所の質的向上を図る必要がある。

一方、種の供給地としての山からの距離と種数の間には、わずかの差で統計的に有意とはいええないものの、負の相関を示唆する結果が得られた。有意な負の相関は、アメリカ南西部のパッチ状の森に住む山地性哺乳類で認められている²²⁾。

4.4 種数の重回帰予測

鳥の種数は、多くの場合、鳥の面積だけでうまく予測できる¹⁾。一方、西インド諸島では鳥の種数の93%が面積だけで説明できるが、東インド諸島では面積で72%、高度によって15%が説明できるという報告²³⁾もある。

陸続きの生息場所パッチでも、面積だけで種数を説明できる場合²⁴⁾があるが、パッチが隔離されてからの時間²⁵⁾や隔離距離²²⁾との重回帰式で説明できる場合が多いようである。

大阪の都市緑地の結果を重回帰分析したところ、種数 S は緑地面積 A と山からの距離 D の重回帰式、 $S = 9.32 \log A - 0.457D + 11.2$ で説明できた。この式は都市緑地におけるチョウ類の種数を説明する最初のものである。

4.5 重回帰式による緑地評価

緑地面積、山からの距離および種数の関係をFig. 3に示す。図示した7段階の緑地面積における山からの距離と種数との回帰直線を参照し、重回帰式によって予測される種数より観察種数が少ない緑地は、大阪市内の平均よりチョウ類の多様性が乏しく、観察種数が多い緑地は多様性が豊かであると評価できる。

この手法で多様性が乏しいと判定されるのは大阪城公園で、10分の1の面積の緑地に見合う種数しか記録されていない。しかし、1990年代半ばの調査では21種が確認され、改善が見られる。同様の改善は鶴見緑地でも認められ、2000年代前半には30種が確認されている。

多様性が豊かと判定されるのは、長居公園、服部緑地、エルシテイ南港である。長居公園は1970年代の調査で、調査コースに臨南寺の社寺林を含んでいた⁸⁾。また、服部緑地には一部に里山林が残存し、自然の丘や流れもある。残存する豊かな自然がチョウ類多様性を保障するといえよう。一

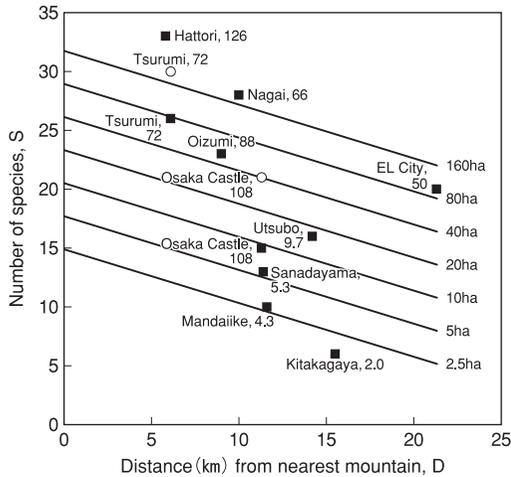


Fig. 3 Relationship among species richness (S), area (A), and distance (D) from nearest mountain. Regression lines were estimated from the following equation, $S = 9.32 \log A - 0.457D + 11.2$, by fixing values of A. Observed values of S were also plotted for values of D. Name and A value of each green were attached with each plot. Two additional circle plots are data observed in Tsurumi in 2002–2003 and in Osaka Castle in 1995–1996, respectively.

方、エルシティ南港はエコロジー機能を重視した整備や管理が行われ、周辺の野鳥園、南港中央公園、南港緑道などとともにビオトープネットワークとして機能している⁷⁾。

5. 結 語

都市における生物多様性の保全は、快適な生活環境の創造という視点からも重要である。本論文で示したように、島の生物地理学理論は多様性保全の有効な理論といえる。他都市、他地域でも同様の調査と解析が行われ、情報が蓄積されることが望まれる。

—引用文献—

- 1) MacArthur, R. H., Wilson E. O.: The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton, 1967
- 2) MacArthur, R. H.: Geographical Ecology. Harper and Row, New York, 1972
- 3) Simberloff, D.: The contribution of population and com-

munity biology to conservation science. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **19**, 473–511, 1988

- 4) 今井長兵衛, 夏原由博: 大阪鶴見緑地で1986, 87年に観察されたチョウ類. 大阪市環境科研報告, **50**, 51–54, 1988
- 5) 今井長兵衛, 夏原由博, 山田明男: 大阪市立大学植物園で1989, 90年に観察したチョウ類. 大阪市環境科研報告, **53**, 104–109, 1991
- 6) 今井長兵衛, 夏原由博, 山田明男: 大阪市内の真田山・万代池両公園で観察したチョウ類. 大阪市環境科研報告, **54**, 104–108, 1992
- 7) 今井長兵衛, 夏原由博, 田中真一: 大阪湾岸のエコロジー緑化地域におけるチョウ類群集とトランセクト調査の精度. 環動昆, **7**, 182–190, 1996
- 8) 日浦勇: 奈良県橿原市箸喰および大阪市長居公園における蝶の生態. 自然史研究, **1**, 51–64, 1973
- 9) 宮武頼夫: 大阪市内の蝶の観察記録(1). *Nature Study*, **22**, 50–54, 1976
- 10) 宮武頼夫: 大阪市内の蝶の観察記録(2). *Nature Study*, **22**, 66–71, 1976
- 11) 石井実, 山田恵, 広渡俊哉, 保田淑郎: 大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. 環動昆, **3**, 183–195, 1991
- 12) 桂孝次郎, 奥野晴三, 山本博子: 鞠公園の自然. 鞠公園自然探求グループ, 大阪, 1993
- 13) 大阪市建設局: 都市公園一覧表. 大阪市, 大阪, 1988.
- 14) 大阪府土木部公園課: 大阪府営都市公園. 大阪府, 大阪, 1988
- 15) Natuhara, Y., Imai, C.: Spatial structure of avifauna along urban-rural gradients. *Ecological Research*, **11**, 1–9, 1996
- 16) 木元新作, 武田博清: 群集生態学入門. 共立出版, 東京, 1989
- 17) Preston, F. W.: The canonical distribution of commonness and rarity. *Ecology*, **43**, 185–215, 410–432, 1962
- 18) Diamond, J. M.: Colonization of exploded volcanic islands by birds: The supertramp strategy. *Science*, **184**, 803–806, 1974
- 19) 白水隆: 原色図鑑日本の蝶. 北隆館, 東京, 1965
- 20) 木元新作: 日本列島におけるチョウ類およびハムシ類における地理的分布にみられる規則性. 日生態会誌, **22**, 40–46, 1972
- 21) Williams, C. B.: Area and number of species. *Nature*, **152**, 246–267, 1943
- 22) Lomolino, M. V., Brown J. H., Davis R.: Island biogeography of montane forest mammals in the American southwest. *Ecology*, **70**, 180–194, 1989
- 23) Hamilton, T. H., Barth, R. H., Rubinoff I.: The environmental control of insular variation in bird species abundance. *Nat. Acad. Sci. Proc.*, **52**, 132–140, 1964
- 24) Zimmerman, B. L., Bierregaard, R. O.: Relevance of the equilibrium theory of island biogeography and species-area relations to conservation with a case from Amazonia. *Journal of Biogeography*, **13**, 133–143, 1986
- 25) Soule, M. E., Bolger, D. T., Alberts, A. C., Wright, J., Sorce, M., Hill, S.: Reconstructed dynamics of rapid extinctions of chaparral-requiring birds in urban habitat islands. *Conservation Biology*, **2**, 75–92, 1988