

都市域の樹林地におけるセミ類の生息分布を規定する環境要因

Factors Influencing Cicada Distribution in Urban Forests

徳江 義宏*** 今村 史子* 大澤 啓志***

Yoshihiro TOKUE Fumiko IMAMURA Satoshi OSAWA

Abstract: In urban areas, it is important to conserve biodiversity because biodiversity is the basis of the ecosystem services. This study focused on cicadas because they serve as an indicator of the environmental conditions. We aim to clarify cicada distribution in urban areas and the environmental factors that affect its population and distribution. By using a method for counting the cast-off skins of the cicadas, we recorded cicada population three times during the summer of 2011 at 49 forest sites in Tokyo metropolis. In addition, we recorded environmental factors through field surveys and satellite imagery analysis. The species composition of cicada was analyzed using the Nestedness Temperature Calculator program, and the relationship between the cicada population and environmental factors was analyzed using a generalized linear mixed model (GLMM). As a result, six cicada species and the cast-off skins of five species were found in the studied sites. The species composition of cicada has a nested structure, with one species dominating many sites. The common factors having a statistically significant influence on the cicada population were soil moisture, soil hardness, leaf coverage in the middle layer, height of shrub layer, and average breast height diameter of trees, which were obtained using a GLMM. Among these factors, we also obtained the characteristic factor affecting each cicada species.

Keywords: Cicada distribution, cast-off skins, urban forests

キーワード：セミ類，抜け殻，樹林地

1. 研究の背景と目的

都市における緑地は、生物多様性の保全や都市住民の健全な生活に必要な様々な生態系機能を提供するものである。とくに、人工的な土地利用が卓越する都市では自然環境の生態的な質を高めるエコロジカルネットワークのコアやコリドーとしての機能は重要となる。さらには、子どもの生きもの遊びの対象や、近隣住民が季節変化を感じることができるという側面からも、多様な生物が生息する緑地の保全、創出は意義があるものと考えられる。したがって、都市における緑地を対象として、身近な生き物をはじめとする様々な生物について、その生態や生息環境に関する基礎的な知見の蓄積は重要である。

本研究では、セミ類(セミ科：林・税所(2011)⑥)に基づく。)に着目した。都市化が進むとセミ類の種類構成が単純化すると指摘される④ことから、セミ類を指標生物として緑地の自然度を簡易に測ることができると指摘される③。またセミ類の抜け殻は同定が容易であることから、環境の状態を一般の市民でも簡易に知ることができる生物としてとりあげられてきた④。したがって、セミ類の生息環境に影響を与える環境要因を詳細に明らかにすることは、生物生息環境に配慮した緑地の保全や管理、また環境学習や一般の市民による環境調査等に対しても有益な知見を提供すると考えられる。

既往のセミ類の生態に関する研究としては、抜け殻の分布調査④、抜け殻と植生や土壌の関係③、セミ類の生理生態⑩⑪、都内のセミ類の生息分布を検討した研究⑫⑬⑭⑯等が挙げられる。しかしながら、セミ類の生息状況と土壌や植生などの各種の環境要因の関係について、定量的な観点から検討を行ったものはほとんど見当たらない。そこで本研究では、都市緑地におけるセミ類の生息状況の把握と、生息に寄与する環境要因の検討を行うことを目的とした。

2. 研究の対象地と研究の方法

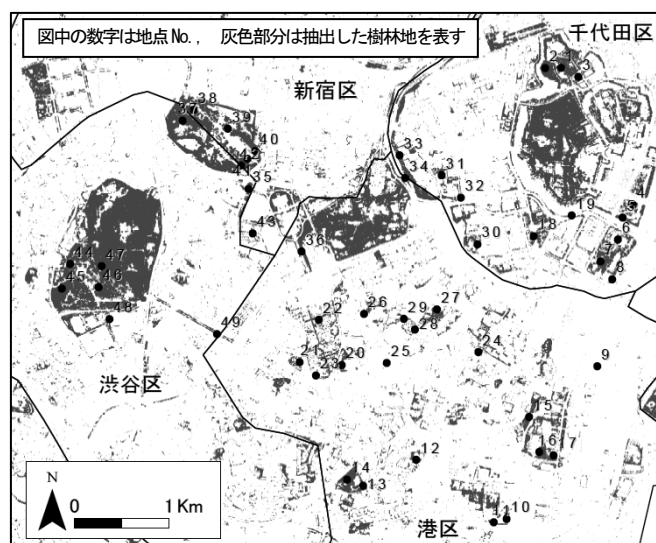


図-1 研究の対象地

(1) 研究の対象地

研究の対象地は、東京都の千代田区、港区、新宿区、渋谷区に分布する公園や社寺等の樹林地のうち、図-1に示す合計49の調査地点である。対象地は、武蔵野台地の東端に位置する地域であり、東京の中心市街地に位置するものの、皇居、新宿御苑、代々木公園などの数十ha以上の規模の緑地から、大学や企業などの1haにも満たない規模の緑地が点在した地域となっており、さまざまな緑地におけるセミ類の生息分布を把握するのに適していると考えられた。対象地の選定にあたっては、数十ha以上の大規模な樹林地から、街路樹や街区公園などの1ha以下の規模の樹林地までを網羅するように任意に設定した。また、大規模な樹林地においては植生の違いなどの様々な環境が存在すると考えられたことから、樹林地内の複数個所に調査地点を配置した。

*日本工営株式会社中央研究所 **日本大学大学院生物資源科学研究科 ***日本大学生物資源科学部

(2) 調査の方法

1) セミ類の生息状況調査

セミ類の生息状況の把握には、抜け殻を用いた。生息状況を抜け殻によって把握することの利点は、その場所でその種類が発生していることの確実な証拠となること、個体数や密度について精度の高い情報が得られること等が挙げられる²⁾。抜け殻の調査の方法は、対象とした樹林地内の任意の箇所に100㎡のコードラートを設定し、樹木、地面等で確認された抜け殻を可能な限りすべて回収し、計数する方法によった。コードラートは、原則10m×10mの正方形としたが、樹林地の形状が細長い場合等は、適宜一辺の大きさを調整し、合計として同面積を確保できるようにした。調査の時期としては、セミ類を指標とした環境調査の場合は、発生の最盛期から後期にかけて、2~3回の調査を実施すれば概要は把握できるとされている²⁾。対象地の周辺では6種類のセミ類が生息していることが報告されており⁷⁾、これら6種類の成虫の発生時期を考慮して、2011年の8月上旬、8月下旬、9月上旬の計3回調査を実施した。また、セミ類の抜け殻の調査の際などに、調査地点で成虫やその死体、または調査地点の周辺で鳴き声が確認された種については、補足的に記録した。

2) 環境要因の調査

樹林地の植生構造等、詳細なスケールでセミ類の生息を規定すると想定される環境要因について、現地調査により把握した。抜け殻調査のコードラートと同一範囲で、土壌水分、土壌硬度、植生構造、開空率、傾斜角度を9月下旬~10月上旬にかけて、前日に降雨が無かった日を選び調査した。土壌水分はADR式土壌水分計、土壌硬度は山中式土壌硬度計を用いてコードラートの四隅および中央の5か所で計測した平均値を用いた。開空率はデジタルカメラ(Coolpix990, Nikon)と専用の魚眼レンズ(Fish-eye Converter FC-E8, Nikon)を用いてコードラートの中心(地上高1.5m)で全天空写真を撮影した後、室内でLIA for Win32¹⁴⁾のソフトウェアを用いて算出した。植生構造は高木層(5m以上)、中木層(1.5m~5m)、低木層(1.5m以下)、草本層ごとに目視で植被率および群落高を記録、またリター層の厚さおよび被覆率を記録した。中木層以上の樹木については、樹高、胸高直径を記録した。傾斜角度はクリノメーターを用いて記録した。これらの環境要因の選定理由としては、既往研究で土壌水分と土壌硬度についてはセミ類の生息との関連が示されていること⁹⁾、傾斜角度、リターはこれら土壌に関わる要因と関連があると想定したためである。また植生、開空率については成虫の捕食圧との関係¹²⁾や、産卵環境において重要であると想定したためである。なお、樹種などの植生の種類に対するセミ類の嗜好は既往の研究では明らかではないため、本研究では検討には含めなかった。

樹林地のサイズ等の広域のスケールからセミ類の生息を規定すると想定される環境要因について、衛星画像の解析により把握した。2011年7月10日に撮影されたDigitalGlobe社のWorldView-2衛星画像(Band1, 2, 3, 4のマルチスペクトルセンサ:分解能1.85m)から最尤法による教師つき分類を行って、樹林地の樹冠の範囲の抽出を行った。抽出した樹冠を、コードラートの中心から50m、また100-1,000mの100m刻みで発生させたバッファ内で面積割合を集計した。またコードラートが含まれる樹林地の樹冠が連続する範囲の面積をパッチサイズとして把握、さらに2006年3月4日の時点で撮影されたGoogle社のGoogleEarthの衛星画像において対象とする樹林地のパッチが存在しない場合は、樹林地の経過年数5年以上と判断した。衛星画像の解析や集計にあたっては、QGIS1.8, GRASS GIS 6.4.2, ESRI社のArcGIS10を用いた。これらの環境要因を選定した理由としては、樹林地の分断化による影響が指摘される¹²⁾ためである。また樹林地の経過年数は、セミ類の幼虫は複数年中で生息することから、

表-1 各種の確認抜け殻数の季節推移

種名	8月上旬	8月下旬	9月上旬	合計個数
ニイニゼミ	339	230	17	586
クマゼミ	0	1	0	1
アブラゼミ	1,156	2,177	1,174	4,507
ヒグラシ	0	0	0	0
ミンミンゼミ	308	396	249	953
ツクツクボウシ	1	34	69	104

注)表中の数字は各種の抜け殻の合計個数を表す。

表-2 各地点の確認抜け殻数

地点No.	アブラゼミ	ミンミンゼミ	ニイニゼミ	ツクツクボウシ	クマゼミ	ヒグラシ	総個数	種数
1	125*	1*	271*	1*	0	0	398	4
5	113*	14*	1*	1*	0	0	129	4
12	33*	25*	12*	12*	0	0	82	4
13	217*	5*	5*	2*	0	0	229	4
14	165*	69*	9*	4*	0	0	247	4
16	4*	9*	1*	3*	0	0	17	4
17	307*	4*	25*	2*	0	0	338	4
21	120*	69*	9*	31*	0	0	229	4
23	152*	17*	1*	22*	0	0	192	4
25	204*	55*	3*	1*	0	0	263	4
31	41*	199*	3*	5*	0	0*	248	4
33	98*	25*	1*	7*	0	0	131	4
38	20*	1*	28*	5*	0	0	54	4
2	23*	2*	38*	0*	0	0	63	3
3	53*	0*	31*	0*	1	0	85	3
6	111*	9*	34*	0*	0*	0	154	3
8	175*	6*	3*	0	0	0	184	3
9	687*	136*	13*	0*	0	0	836	3
11	31*	60*	2*	0*	0	0	93	3
15	51*	65*	6*	0*	0	0	122	3
20	428*	41*	0	2*	0	0	471	3
22	8*	1*	2*	0*	0	0	11	3
27	29*	6*	0	1*	0	0	36	3
30	24*	58*	2	0*	0*	0	84	3
34	69*	11*	3*	0*	0	0*	83	3
35	106*	5*	5*	0	0*	0	116	3
37	47*	0*	6*	1*	0	0	54	3
42	15*	5*	0*	1*	0*	0	21	3
44	23*	0*	41*	2*	0*	0*	66	3
4	381*	0*	27*	0*	0	0	408	2
19	47*	1*	0*	0*	0	0*	48	2
24	13*	6*	0	0*	0	0*	19	2
32	20*	2*	0*	0*	0	0	22	2
36	9*	1*	0	0*	0	0*	10	2
40	5*	5*	0*	0*	0	0	10	2
43	404*	37*	0	0	0	0	441	2
45	20*	2*	0*	0*	0*	0*	22	2
46	45*	0*	4*	0*	0*	0	49	2
47	9*	0*	0*	1*	0	0	10	2
49	30*	1*	0	0*	0	0	31	2
7	17*	0*	0	0	0	0	17	1
10	10*	0*	0*	0*	0	0	10	1
18	1*	0*	0*	0*	0	0	1	1
26	14*	0*	0	0*	0	0	14	1
28	1*	0*	0	0*	0	0	1	1
39	1*	0*	0*	0*	0	0	1	1
48	1*	0*	0*	0	0*	0	1	1
29	0*	0*	0	0*	0	0	0	0
41	0*	0*	0*	0*	0	0	0	0
地点数	47	34	28	19	1	0		

注)*は鳴き声または目視による個体の確認があったことを示す。

新たに造成された樹林地で抜け殻が確認されるまでには時間を要すると考えられるためである。

(3) 分析の方法

まず、全地点の出現したセミ類について、その種組成の傾向を把握した。鳥類⁹⁾等では、樹林地の規模などの環境要因に応じて入れ子状の種組成となることが報告されており、本研究において

も種の出現傾向と入れ子分布の有無があるかを解析した。解析には、Nestedness Temperature Calculator (NTC) ¹⁾を用いて、種の出現の入れ子構造について検討した。NTC では種の出現の入れ子の程度が温度により表され、0°は完全な入れ子構造を、温度が100°に近いほどランダムな種の出現を意味する。NTC を用いて対象地の温度(システム温度)を求め、モンテカルロ法によりランダムな種の出現を500回シミュレートした結果の平均温度と有意な差があるかどうかをt検定により検討した。

次に、各地点での種の出現傾向と環境要因の関係を把握するため、セミ類の種毎に生息に影響を与える環境要因の傾向の把握を行った。切片にランダム効果を加えたポアソン分布、リンク関数はlogによる一般化線形混合モデル(GLMM: Generalized Linear Mixed Model)を用いて分析を行った。応答変数に3回の調査を通じての確認が1個のみであったクマゼミを除く4種のセミ類の抜け殻の各個数、従属変数に現地調査および衛星画像の解析によって得た環境要因を定めた。従属変数のうち、衛星画像より把握したバッファ内の樹冠面積の割合については、AIC(赤池情報量基準: Akaike's Information Criterion)が最小となるバッファの距離の面積割合を、各種の従属変数として用いることとした。ランダム効果には、樹林地が属する公園・神社などの管理単位を含めた。これは公園・神社ごとの管理履歴などの定量的に把握することが困難な要因があることを想定したためである。なお、従属変数間では強い相関($r > 0.8$)は認められなかったため、多重共線性による影響は無いものと判断した。モデルの検討にあたっては、AICをもとにして変数増減法によるステップワイズにより変数の絞り込みを行い、AICが最小となるモデルの組み合わせを採用した。解析にあたっては統計ソフトR2.15.1を用い、GLMMはglmmMLのパッケージを用いた。

3. 結果

(1) セミ類の確認種および抜け殻数

合計49地点を調査した結果(表-1, 表-2)、抜け殻ではニイニイゼミ、アブラゼミ、ミンミンゼミ、ツクツクボウシ、クマゼミの合計5種類が確認された。また、鳴き声によりヒグラシが確認されており、合計6種類のセミ類の生息が確認された。全地点を合計して抜け殻が最も多かったのはアブラゼミ4,507個であり、次いでミンミンゼミ953個、ニイニイゼミ586個、ツクツクボウシ

シ104個、クマゼミ1個であった。3回の調査における種毎の抜け殻数の推移を表1に示す。ニイニイゼミは8月上旬、アブラゼミ、ミンミンゼミは8月下旬、またツクツクボウシは9月上旬の調査で最も多くの個体を確認した。地点別では、確認数が最も多かった地点は計836個であり、一方全く抜け殻が確認できなかった地点も2地点あり、地点間での顕著な差が認められた。

(2) セミ類の種の出現状況

NTCを用いた分析の結果、入れ子の程度を示すシステム温度は3.2°となり、ランダムに種が出現した場合(平均44.1°標準偏差6.09°)からは有意に低い状況($p < 0.0001$)であることから、対象地においては種の出現が、入れ子構造をもつことが示された。入れ子の順位としては、確認地点数が多い順に、アブラゼミ、ミンミンゼミ、ニイニイゼミ、ツクツクボウシ、クマゼミとなった。確認した種数ごとの地点数をみると、4種の確認は13地点、3種の確認は16地点、2種の確認は11地点、1種の確認は7地点であった。確認がなかった地点は2地点であった(表-2)。

(3) セミ類の生息と環境要因の関係

GLMMの分析にあたっては、周辺の樹林地率ごとに分析し、変数選択後のAICが最小となる最適な距離(ニイニイゼミ: 周辺200m, アブラゼミ: 周辺700m, ミンミンゼミ: 周辺100m, ツクツクボウシ: 周辺1,000m)のモデルを種ごとに採用とした(表3)。なお、ニイニイゼミについては、高木層、中木層、低木層、草本層の植被率、リター層の被覆率、厚さ、傾斜角度の変数を含めた場合、モデルが発散して収束しなかったため、これらの変数を除いてモデルの検討を行った。

統計的に有意であった環境要因を中心として、各種の生息に与える環境要因の正負の傾向および環境要因の数値の変動範囲(表-3)とあわせて、各種で確認があった地点の環境条件の数値(平均値±標準偏差)を示す。土壌の状態に関連する条件では、まず土壌水分がニイニイゼミ(16.4±4.4%)、アブラゼミ(15.3±4.6%)、ツクツクボウシ(16.3±4.6%)の3種に共通して有意な条件として示された。土壌硬度については、ツクツクボウシ(15.5±4.7%)はアブラゼミ(17.3±5.7%)やミンミンゼミ(15.8±5.3%)と比べると柔らかい土を嗜好していた。

群落の各階層構造、開空率等についてみると、アブラゼミについては中木層(12.8±14.9%)、低木層(13.9±21.1%)、草本層(27.5±30.9%)の植被率、開空率(23.2±7.7%)は正に、リター

表-3 GLMMによる検討結果

項目	単位	統計量				ニイニイゼミ			アブラゼミ			ミンミンゼミ			ツクツクボウシ		
		最小値	最大値	平均値	標準偏差	係数値	標準誤差	Pr (> z)	係数値	標準誤差	Pr (> z)	係数値	標準誤差	Pr (> z)	係数値	標準誤差	Pr (> z)
切片(固定効果)																	
高木層	植被率 %	40.0	100.0	80.4	15.0	—	—	—	-9.32843	1.65946	***	-3.97466	1.03269	***	1.09062	2.40471	
	群落高 m	8.0	25.0	16.7	4.0	—	—	—	0.03887	0.00764	***	0.04871	0.01340	***			
	傾斜 °	0.0	60.0	12.2	14.8	—	—	—	0.23801	0.03135	***						
中木層	植被率 %	0.0	60.0	12.2	14.8	—	—	—	-0.04424	0.00886	***	0.02808	0.01423	*	-0.09450	0.03178	**
	群落高 m	0.0	5.0	1.8	1.8	—	—	—	0.23509	0.14637							
	傾斜 °	0.0	90.0	15.2	23.4	—	—	—	-0.02964	0.00460	***	-0.06185	0.01301	***			
低木層	植被率 %	0.0	1.5	0.7	0.6	—	—	—	1.07500	0.12687	***	1.46260	0.29702	***	1.71610	0.45756	***
	群落高 m	0.0	100.0	28.3	32.0	—	—	—	-0.00763	0.00332	*	0.02822	0.00603	***			
	傾斜 °	0.0	1.1	0.2	0.2	—	—	—	2.92764	0.55181	***	-2.20941	1.52722				
草本層	植被率 %	0.0	100.0	28.3	32.0	—	—	—	-0.02144	0.00527	***	-0.05576	0.01212	***	-0.06801	0.02845	*
	群落高 m	0.0	1.1	0.2	0.2	—	—	—	-0.02481	0.00709	***						
	傾斜 °	0.0	36.0	7.2	11.1	—	—	—	0.03908	0.00378	***	0.02658	0.00946	**	0.01689	0.01129	
リター	被覆率 %	5.0	100.0	51.2	32.0	—	—	—	-0.97069	0.11413	***	-0.49831	0.26515				
	厚さ m	0.5	10.0	2.1	2.1	—	—	—	0.07293	0.02470	**						
開空率	%	7.5	47.8	23.0	7.5	—	—	—	0.08290	0.02248	***	0.09546	0.04167	*	-0.15521	0.06710	*
土壌硬度平均		5.3	27.4	17.2	5.6	—	—	—	0.33161	0.02897	***				0.32884	0.09477	***
土壌水分平均		5.8	23.8	15.3	4.6	0.20281	0.02317	***	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
周辺の樹林地率	50m %	8.2	99.4	48.7	25.6	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	100m %	2.7	95.9	37.7	23.7	(-)	(-)		(-)	(-)		-0.03874	0.00928	***	(-)	(-)	
	200m %	0.7	86.9	29.4	20.7	0.03756	0.00588	***	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	300m %	0.5	84.1	24.7	17.8	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	400m %	0.7	81.4	22.2	16.5	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	500m %	1.4	75.8	20.5	15.5	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	600m %	3.3	67.1	18.7	13.6	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	700m %	3.8	57.8	17.3	11.8	(-)	(-)		-0.15823	0.03002	***	(-)	(-)		(-)	(-)	
	800m %	4.2	49.5	16.4	10.2	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
	900m %	5.4	42.4	15.6	8.9	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)	
1,000m %	6.0	35.4	15.0	7.7	(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		(-)	(-)		
樹林地のバッチサイズ	ha	0.0	95.9	11.1	26.4	0.07435	0.01715	***	0.06501	0.01600	***				-0.18002	0.08625	*
経過年数(造成5年以内)		0.0	1.0	0.0	0.2	-12.96781	228.68796		-3.98193	2.79173					0.04731	0.02831	
逸脱度						442			216			135			61		
帰無モデルの逸脱度						1438			1438			529			146		
説明率						69			85			75			58		
AIC						454			254			157			87		

注) -:モデルの検討に含めなかった変数をあらわす。(—):最適な距離を検討して含めなかった変数 *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, ***: $p < 0.001$ 説明率 = (帰無モデルの逸脱度 - モデルの逸脱度) / 帰無モデルの逸脱度 × 100

の厚さ (51.3±31.6%) が負に影響することが示された。一方、ミンミンゼミは低木層の植被率 (13.2±18.3%) が負の影響となる点はアブラゼミと共通しつつも、中木層 (15.0±15.2%)、草本層 (27.1±28.5%) の植被率が正の影響を与える点が異なっていた。ツクツクボウシについては、中木層の植被率 (10.8±12.2%) は負の影響となった。なお、高中木層の胸高直径の平均は、アブラゼミ (30.2±17.0cm)、ミンミンゼミ (25.9±13.7cm)、ツクツクボウシ (25.6±11.8cm) の3種とも負の影響となった。

広域的な環境要因についてみると、周辺の樹林地率や調査した樹林地のパッチサイズについては各種の生息との関連性が示された。ニイニゼミでは、コドラート周辺 200m 範囲内の樹林地率 (30.8±20.9%) およびパッチサイズ (10.8±25.1ha) は正の影響を与えていた。一方、周辺の樹林地率はアブラゼミ (17.4±11.9%)、ミンミンゼミ (34.2±21.4%)、ツクツクボウシ (14.4±8.5%) に対しては逆に負の影響を与えていた。ただし、樹林地のパッチサイズについては、アブラゼミ (11.5±26.9ha)、ツクツクボウシ (16.3±29.6ha) とも正の影響を与えていた。

4. 考察

(1) セミ類の出現状況

本調査で6種類のセミ類の生息が把握され、これは東京都の23区内の生息種⁷⁾ 15) 16)の全てが確認されたことになる。ただし、ヒグラシはコドラート周辺での鳴き声の確認のみとなったのは、本種は23区内では絶滅危惧種に指定されており¹³⁾、その生息密度の低さが今回の抜け殻確認に至らなかった理由と推察される。

抜け殻の確認数と、種の出現状況の解析では、各種の出現地点数の順に入れ子構造となっていることが明らかとなった。これは、都市化の進行に伴いセミ類の種類構成が単純化し、アブラゼミが圧倒的に優占する多様性に乏しい構成になるという指摘⁴⁾を支持する結果が示された。

(2) セミ類の生息を規定する環境要因について

土壌の状態に関連する条件では、まず土壌水分がニイニゼミ、アブラゼミ、ツクツクボウシの3種に共通して生息に重要な環境要因であると考えられた。セミ類は枯れ枝などに産卵を行い、孵化した幼虫は地面に落下してから土中に潜るという生態をもつとされる⁶⁾。既往の研究では、クマゼミの孵化後の一齢幼虫にとって地表面の湿度が生存率を左右する重要な要因であることが明らかにされている⁹⁾。クマゼミ以外の種についての地表面の湿度に対する生理的な応答は明らかではないが、本結果を鑑みると同様に水分条件が高いことが重要な要因となっている可能性がある。また、土壌硬度については、ツクツクボウシはアブラゼミやミンミンゼミと比較すると、あまり人の入らない踏圧強度の低い樹林を嗜好する傾向があることが示された。

群落の各階層構造、開空率等の結果からは、アブラゼミが樹木の点在する開けた環境で高密度に発生し、市街地で多く発生するとの指摘²⁾を支持する結果となった。一方、ミンミンゼミは公園等に植栽された樹木の生長により本種は首都圏では近年増加傾向にあるとの指摘⁷⁾にもあるよう、アブラゼミと比べると林内の植被率がより高くなるような環境を嗜好している可能性がある。ツクツクボウシについては林内は開けた環境を嗜好していることが示唆された。なお、高中木層の胸高直径の平均は、アブラゼミ、ミンミンゼミ、ツクツクボウシの3種とも負の影響を与える明確な理由については把握できなかった。

ニイニゼミでは、樹林地率およびパッチサイズが正の影響を与えていた理由としては、一般的には樹林地の細分化はエッジ効果による林内の乾燥化や捕食圧を受けやすくなることが指摘される。ニイニゼミは土壌の乾燥化による減少も指摘されていることから⁶⁾、本結果はエッジからの影響を受けにくい面積が大き

い樹林地の存在が生息に重要であることを示唆するものである。アブラゼミ、ミンミンゼミ、ツクツクボウシについては周辺の樹林地率は逆に負の影響を与えていたことから、これらの種にとって必ずしも周辺に存在する樹林地の面積が重要な要件ではないことが示された。ただし、形状としては細分化された樹林地よりも一連のまとまりとなった樹林地を嗜好している可能性があるものと考えられた。樹林地の形状は成虫期における外敵からの捕食圧¹²⁾の影響などとも関連があると推測される。

5. まとめ

都市域を対象として抜け殻によるセミ類の生息状況と、その生息を規定する環境要因を定量的に把握した。その結果、セミ類の種類構成には入れ子構造が認められ、都市化の程度や緑地の管理状況に応じて種構成が単純化し、アブラゼミが最後まで残ることが明らかになった。また、一部の種では樹林地のパッチサイズや樹林地の水分条件、土壌硬度が規定要因になる等、種毎に異なる生息環境に対する要求を示すことを明らかにした。

セミ類の種構成は入れ子構造を示すことから、本研究で確認されたすべての種が出現する樹林地の保全を目指すことが、対象地においてセミ類の多様性を維持していく上では重要である。ニイニゼミに対しては広域的には周辺の樹林地率を高め、形状として連続した樹林地を配置することは有効である。一方、それ以外の種に対しては周辺の樹林地率にかかわらず、詳細なスケールで植生構造や土壌の条件に配慮していくことが重要である。具体的には植生の階層構造を維持すること、また土壌への過度な踏圧や乾燥化を防ぐような対策などが有効と考えられる。

都市域の生物多様性保全において、セミ類など聴覚を通じた生き物の賑わいを感じさせる生物の存在は重要である。今後、地域の自然環境の保全・修復の計画指標としての活用が期待される。

謝辞：調査をはじめとする研究全般にわたって、日本工営株式会社環境部並びに関係者各位には様々なご支援をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

補注及び引用文献

- 1) Atmar, W. and B.D. Patterson. (1993) : The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat : *Oecologia* 96, 373-382
- 2) 浜口哲一(1994) : 平塚市博物館資料41 セミのぬけがら調べ : 平塚市博物館, 124pp
- 3) 浜口哲一(1994) : 指標生物—自然をみるものさし (フィールドガイドシリーズ), 平凡社, 日本自然保護協会, 364pp.
- 4) 浜口哲一 (1998) : 生きもの地図が語る街の自然 : 岩波書店, 152pp
- 5) 橋本啓史・村上健太郎・森本幸裕 (2005) : 京都市内の孤立林における樹林生息類の相対種数—面積関係と種組成の入れ子パターン : *景観生態学* 10(1), 25-35
- 6) 林正美・税所康正 (2011) : 日本産セミ科図鑑 : 誠文堂新光社, 221pp
- 7) 久居宣夫(2001) : 自然教育園のセミ類 : *自然教育園報告* 33, 341-344
- 8) 増山貴一・藤崎健一・勝野武彦 (1998) : 神奈川県高麗山における植生の違いによるセミ類種構成の差異 : *ランドスケープ研究* 61(5), 535-540
- 9) Moriyama M, Numata H(2006) : Induction of egg hatching by high humidity in the cicada *Cryptotympana facialis* : *J Insect Physiol.* 52, 1219-1225
- 10) 中尾舜一 (1990) : セミの自然誌—鳴き声に聞く種分化のドラマ : 中央公論社, 179pp
- 11) 沼田英治・初野成彦 (2007) : 都会にすむセミたち—温暖化の影響? : 海辞舎, 162pp
- 12) Takakura K I, Yamazaki K (2007) : Cover Dependence of Predation Avoidance Alters the Effect of Habitat Fragmentation on Two Cicadas (Hemiptera: Cicadidae) : *Ann. Entomol. Soc. Am.* 100, 729-735
- 13) 東京都環境局(2010) : 東京都の保護上重要な野生生物種(本土産)～東京都レッドリスト～2010年版, 東京都環境局自然環境部, 東京, 121pp.
- 14) 山本一清 : LIA for Win32 (LIA32) : lia32 < <http://www.agr.nagoya-u.ac.jp/~shinkan/LIA32/> >, 2008. 11. 26 更新, 2012. 09. 24 参照
- 15) 吉野勲(2008) : 東京の市街地に生息するセミ類の生息環境の解明 : 里山の自然研究 8, 42-85
- 16) 吉野勲(2009) : 東京の都心部に生息するセミのぬけがら調査 : 里山の自然研究 9, 55-94
- 17) (財) 都市緑化技術開発機構(2000) : 都市のエコロジカルネットワーク—人と自然が共生する次世代都市づくりガイド, ぎょうせい, 東京, 207pp.