

セミの鳴き声から地球温暖化にせまる

～ 発鳴時間と環境データを用いた環境評価指標の開発 ～

東京都立富士高等学校 1年 村上 琴美

身近な生物であるセミは、地球温暖化による生態系への影響を知るための指標生物になる
と考え、セミの発鳴時間と環境データから環境評価手法を開発することを試みた。観測点に
測定装置を設置し、熱帯夜の日に着目して発鳴時間と樹木率などの生息環境の分析を行っ
たところ、樹木率とセミの発鳴時間の関係では、相関係数（R）が 0.95 とかなり強い相関
を示した。また、セミの発鳴時間と樹木率などの要素を含んだ「環境セミ指数」を考案し計
算した結果、31.3 ～77.9（％）であった。今回の結果からでは「環境セミ指数」が妥当な
ものか判断するにはデータが不十分なため、今後精度を追求していきたい。また、多くの
人に「環境セミ指数」について知ってもらい、地域の自然環境向上に意識を持ってもらいた
いと考えている。

1. 研究背景と実験動機

身近な生物であるセミは、地球温暖化による生態系への影響を知るための指標生物として知られている¹⁾。そのセミが、20年ほど前より東京都などの都市部で夜に鳴く事例（名古屋市など）が報告²⁾されており、都市部の環境変化が指摘されている。これまでセミの研究では、セミの抜け殻調査の事例が多く報告されている^{1),3)}。そこで、本研究では、セミの鳴き声に着目し、5年前よりセミの鳴き声を調べることで、身近な場所での自然環境（都市環境）を解明することができないかと考え、2014年より継続して測定を行い基礎研究を重ねてきた。これらの基礎研究をもとに、セミの発鳴と環境データの関係性を調べることで、本研究の最終目標とする地球温暖化を探る新しい環境評価指標「環境セミ指数」を開発し、提案できないかと考え、本研究を行うこととした。その際、場所を問わず誰でも（小学生でも）活用できるこ

とを目指し、開発を行った。なお、今回開発した環境評価指標を「環境セミ指数」と名付けた。

2. 目的

本研究の目的は、以下のとおりである。

- （1）各測定点におけるセミの発鳴の変化（7月から9月）と環境データとの関係を調べる。
- （2）雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とアブラゼミの発鳴についての関係を解明する。
- （3）雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とセミの種数についての関係を解明する。
- （4）雨の降らない熱帯夜の日におけるアブラゼミの発鳴時間と環境データから新たな環境評価指標「環境セミ指数」を開発し、提案することを試みる。

3. 測定方法

測定場所に測定装置を設置し、7月から9月の

2週間ごとにセミの発鳴を記録した。セミの発鳴の録音には、IC レコーダー (VN-722PC) を用い、一回の測定で約 3 日間記録した。また、環境データ (温湿度・気圧・風速・雨量など) の測定には、POTEKA (気象データ観測装置) とおんどとり (TR-74Ui) の 2 つの装置を用いた。さらに、気象庁 HP の過去の気象データを用いて、測定エリアの最低気温を確認した。以下、各測定装置の詳細を示す。

(1) 測定箱

測定箱は、内側に仕切りのある 2 つの空間を持つ上面が閉じた発泡スチロールでできており、内側の空間に IC レコーダーや温湿度・照度・UV レコーダーや湿度センサー部が入っている (図 1 a, b)。図 1 a は測定箱の側面 (正面)、図 1 b は測定箱の下面である。測定箱の大きさは、外側が 140mm×200mm×100mm であり、内側空間が 75mm×75 (60) mm である。図 1 b の左側内部空間には、加工したペットボトル容器 (口の部分を残し胴体部の半面を切断) をはめ込んであり、IC レコーダー (VN-722PC, (株) オリンパス, 128kbps, 70Hz~17kHz) と温湿度・照度・UV レコーダー (おんどとり TR-74Ui, (株) ティアンドディ, 測定精度: 平均 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%\text{RH}$) を固定できるように工夫してある。照度・UV センサー部は、測定箱上部に固定してある。測定箱は、樹木にひもや針金で固定し、地上から 1.5m の位置に設置した (図 1 c)。

(2) POTEKA (気象データ観測装置)

本校 (東京都立富士高等学校) および東京都環境科学研究所の気象データの測定には、首都大学 (高橋教授) が設置してる POTEKA (気象データ観測装置) 用いた (図 2)。測定できる気象要素は、気温・湿度・気圧・風向・風速・日射・感雨・雨量である。気温は、白金測温抵抗体を用いて測定し、観測範囲 ($-10.0\sim+50.0^{\circ}\text{C}$)、精度 ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$: $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。湿度は、静電容量式を用いて測定し、観測範囲 ($0.0\sim100.0\%\text{RH}$)、精度 ($\pm 5\%$: $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。気圧は、静電容

量式を用いて測定し、観測範囲 ($870.0\sim1050\text{hPa}$)、精度 ($\pm 0.7\text{hPa}$: $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。風向は、超音波を用いて測定し、観測範囲 ($1\sim360^{\circ}$: 無風時 0°)、精度 ($\pm 10^{\circ}$: $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。風速は、超音波を用いて測定し、観測範囲 ($0.0\sim30.0\text{m/s}$)、精度 ($\pm 1.0\text{m/s}$ ($0\sim20\text{m/s}$): $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\%$ ($20\sim30\text{m/s}$): $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。日射は、フォトダイオードを用いて測定し、観測範囲 ($0\sim1400\text{W/m}^2$)、精度 ($\pm 10\%$: $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$) である。感雨は、静電容量式を用いて測定し、観測範囲 ($0/1$) である。雨量は、転倒マス式を用いて測定し、観測範囲 (1 転倒雨量: 0.5mm)、精度 (10mm/h 以下の雨量: 0.5mm 以内, 20mm/h 以下の雨量: F.S の 3%以内) である。装置は、本校および東京都環境科学研究所の屋上に設置してある。



図 1. 測定装置と樹木への設置の様子



図 2. POTEKA (気象データ観測装置)

(3) IC レコーダーの録音範囲

IC レコーダー (VN-722PC) の録音範囲は、ミンミンゼミ約 100 m、アブラゼミ・ツクツクボウシ約 80 m である。CD ラジカセからセミの鳴き声の音源 (CD) を、騒音計を用いてセミの鳴き声の最大音圧 (90～100 dB) で再生し、10 m ごとに IC レコーダーに録音して行った (図 3)。なお、この実験は、2016 年に行ったものである。

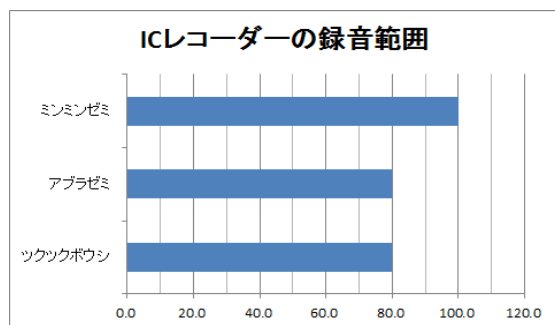


図 3. IC レコーダーの録音範囲

4. 測定時期と測定場所

本研究で用いた測定データの測定時期と測定場所は、以下の通りである (表 1)。なお、昨年の測定データだけでは、解析を行うにあたって不十分であったため、本年および 2015 年に本研究の先輩たちが測定したデータを用いた。

時期	測定場所 (東京都内 8 カ所)
2019 年	赤塚公園 (板橋区)
2018 年	東京都立富士高等学校 (中野区)、東京都内東京都環境科学研究所 (江東区)、 東京大学農学部 (文京区)、赤塚公園 (板橋区)
2015 年	板橋区立高島第一中学校 (板橋区)、徳丸が原公園 (板橋区)、 大田区立御園中学校 (大田区)、足立区立竹の塚中学校 (足立区)

表 1. 測定時と測定場所

5. 解析方法

本研究において、それぞれ次のように解析を行った。

(1) 各測定点におけるセミの発鳴の変化 (2018 年 7 月から 9 月) を調べるために、セミの鳴き声チェックシート (Excel) を作成し、IC レコーダーで測定したセミの発鳴データを聞き取り、30 分毎の区間内で主鳴音 (本鳴き) が確認されたときのみセミの種類ごとにプロットした。また、プロットしたデータを気象データと比較し、セミの発鳴と比較する。

(2) 雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とアブラゼミの発鳴の関係を明らかにするために、樹木率の測定を行い、樹木率とアブラゼミの発鳴との相関関係を解析する。

樹木率の測定では、事前準備として、電子天秤、ラミネート機械、はさみ、シャーレを用意し、次の手順で行った。① 航空写真をもとに装置の設置場所から半径 100m の円をパワーポイントで作成し、印刷する。② 印刷した紙をラミネートし、樹木面積とそうでないところをはさみで切り分ける。③ 全体の重さと樹木面積の重さをそれぞれ電子天秤で量る。④ 樹木面積の重さ ÷ 全体の面積の重さ × 100 で樹木率 (%) を求める。なお、航空写真は Google マップのものを使用した。樹木率の測定にあたり、同様の方法で緑被率の測定も行った (図 4)。その結果、測定地点において、樹木率と緑被率の差はほとんどなかった。そこで、セミの幼虫は、樹木の根の道管の樹液をエサにしていることから、本実験では、樹木率とアブラゼミの発鳴時間の関係を調べることにした。なお、本実験では、2018 年の測定データを用いた。



図 4. 樹木率測定の様子

相関係数 (R) の測定では、Excel を用いて樹木率とアブラゼミの発鳴時間における近似曲線（線形近似）と決定係数 (R²) を求める。決定係数 (R²) の平方根から、相関係数 (R) を求め、相関関係を解析する。

(3) 雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とセミの種数の関係を明らかにするために、樹木率の測定を行い、樹木率とセミの種数との相関関係を解析する。樹木率や相関係数 (R) の測定は、(2) と同様の方法を用いた。

(4) 雨の降らない熱帯夜の日におけるアブラゼミの発鳴時間と環境データを用いて新たな環境評価指標「環境セミ指数」を開発するため、次のような環境評価指標を表す式を考案した。この式を用いて環境評価指標 (%) を求める。

$$\left(\text{環境セミ指数} \right) = \left\{ \frac{\text{雨の降らない熱帯夜の日のアブラゼミの発鳴時間(h)} \times 100}{24(\text{h})} + \text{樹木率}(\%) + \frac{\text{セミの種数(種)} \times 100}{\text{測定データ日に確認された最大セミの種数(種)}} \right\} \div 3$$

6. 結果

(1) 各測定点におけるセミの発鳴の変化
(2018 年 7 月下旬から 9 月上旬) を時系列にまとめた (図 5)。その結果、セミ類(セミ科：林・税所(2011)⁴⁾に基づく)のそれぞれの種において発鳴する条件が異なることが分かった。今

回の測定で確認されたセミの種類は、ミンミンゼミ (*Hyalessa maculaticollis*)、アブラゼミ (*Graptopsaltria nigrofusca*)、ツクツクボウシ (*Meimuna opalifera*)、ヒグラシ (*Tanna japonensis*) の 4 種であった。ミンミンゼミの発鳴は、日の出の前後で鳴き始め、日の入りの前後で鳴きやむ傾向があることが分かった。アブラゼミは、昼夜関係なく発鳴する傾向があることが分かった。ツクツクボウシとヒグラシは、樹木率の高い場所で発鳴する傾向が見られた。なお、下記のデータは、7 月から 9 月までのデータの中から抜粋したものである。

さらに、セミの発鳴と気象要素を比較した結果、アブラゼミは 23℃前後で発鳴することが分かった (図 6 a)。また、湿度や風速による発鳴への影響は確認できなかったが、雨天時の発鳴はほとんどないことなどが分かった (図 6 b)。そこで、(2) (3) (4) の解析では、雨の降らない熱帯夜(最低気温：25℃以上の夜)の日における樹木率とセミの生息環境に着目し、解析することにした。なお、気象庁 HP の過去の気象データを用いて、東京都の気象庁の各観測点の最低気温を確認したところ、本研究の測定日において東京管区気象台 (千代田区) で熱帯夜の日では、東京都内の各観測点の最低気温は山間部を除き 23℃以上であることが確認できた。

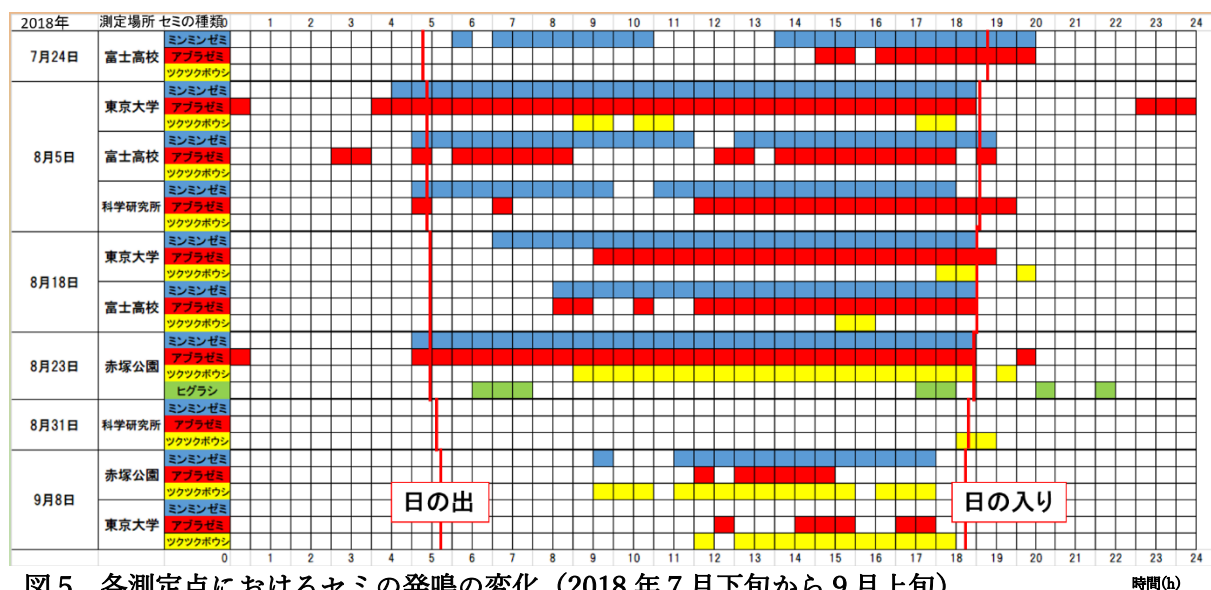


図 5. 各測定点におけるセミの発鳴の変化 (2018 年 7 月下旬から 9 月上旬)

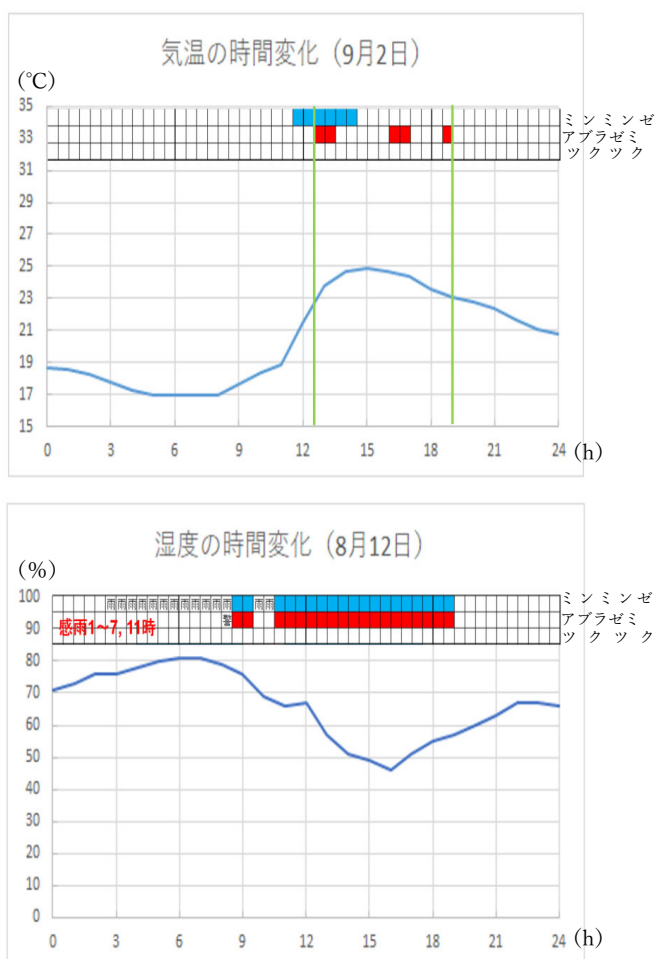


図6. セミの発鳴と気象要素の比較 (a)発鳴時間と気温の関係、(b) 発鳴時間と湿度の関係

気象要素の計測には、本校設置の POTEKA（気象データ観測装置）を用いた。感雨：POTEKA の感雨計データ。雨：録音データによる雨音。警：セミの警戒音

(2) 雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とアブラゼミの発鳴時間の関係（図7）から、実線の近似曲線（対数近似）の式 ($y = 5.5836\ln(x) + 0.4089$)、決定係数 ($R^2 = 0.7509$)、相関係数 ($R = 0.8672$) を得た。また、点線の近似曲線（線形近似）の式 ($y = 0.1984x + 11.428$)、決定係数 ($R^2 = 0.6339$)、相関係数 ($R = 0.7962$) を得た。今回のデータに適切な近似曲線は、決定係数 (R^2) から判断すると対数近似であるが、回帰分析をするにあたり、線形近似を回帰直線とし、その相関係数 (R) を用いることにした。その結果、決定係数 ($R^2 = 0.6339$) より、 R^2 値が 0.5~0.8 だったた

め、回帰式が成立する可能性が高いことが示された。また、相関係数 ($R = 0.7962$) より、 R 値が 0.7 以上であったため、強い正の相関関係が示された。グラフの近似曲線（対数近似、線形近似）と決定係数 (R^2) と相関係数 (R) はいずれもエクセルを用いて計算した。

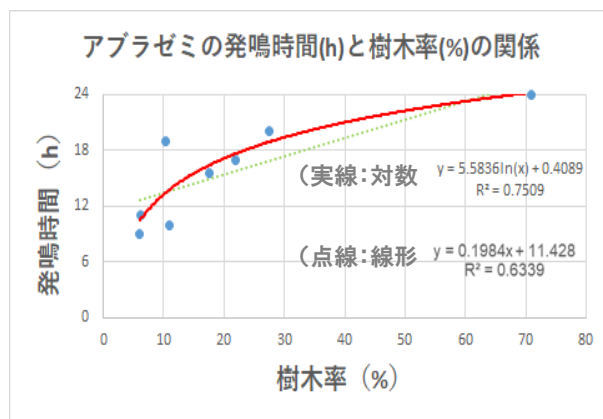


図7. 発鳴時間と樹木率

(3) 雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とセミに種数の関係（図8）から、実線の近似曲線（対数近似）の式 ($y = 1.0538\ln(x) - 0.3836$)、決定係数 ($R^2 = 0.8892$)、相関係数 ($R = 0.9430$) を得た。また、点線の近似曲線（線形近似）の式 ($y = 0.0365x + 1.7159$)、決定係数 ($R^2 = 0.7141$)、相関係数 ($R = 0.845$) を得た。今回のデータに適切な近似曲線は、決定係数 (R^2) から判断すると対数近似であるが、回帰分析をするにあたり、線形近似を回帰直線とし、その相関係数 (R) を用いることにした。その結果、決定係数 ($R^2 = 0.7141$) より、 R^2 値が 0.5~0.8 だったため、回帰式が成立する可能性が高いことが示された。また、相関係数 ($R = 0.845$) より、 R 値が 0.7 以上であったため、強い正の相関関係が示された。グラフの近似曲線（対数近似、線形近似）と決定係数 (R^2) と相関係数 (R) はいずれもエクセルを用いて計算した。

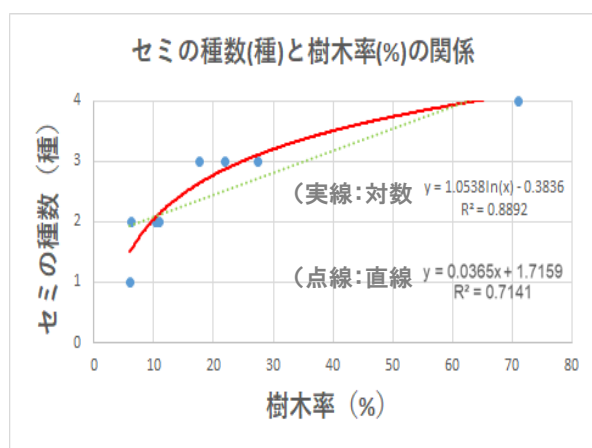


図8. セミの種数と樹木率鳴の関係

(4) 雨の降らない熱帯夜の日ににおけるアブラゼミの発鳴時間と環境データを用いて新たな環境評価指標「環境セミ指数」を求めるため、前述した次の式を用いた。(図9)今回は、樹木率は(2)で計算したものを用い、測定データ日に確認された最大セミの種数は4種であったため、次の式を

用いて計算し、表2にまとめた。その結果、全ての要素(セミの発鳴時間、樹木率、種数)の値が最も大きい赤塚公園は、環境評価指標が最も高く、環境セミ指数が90.3%となった。それに対して、最も小さい東京都環境科学研究所は、22.8%と赤塚公園の約1/4ほどに止まった。なお、赤塚公園は、昨年の測定データに熱帯夜の日の無かったため、今年の熱帯夜の日に測定したデータを用いた。

7. 考察

(1) 図5より、ミンミンゼミの発鳴は、日の出の前後で鳴き始め、日の入りの前後で鳴きやむ傾向が分かったことから、ミンミンゼミの発鳴には、明るさが関係していると考えられる。また、アブラゼミは、昼夜関係なく発鳴する傾向が分かったことと、23℃前後で発鳴することが分かったことから(図6a)、アブラゼミの発鳴には気温が関係

$$\begin{aligned} \left[\begin{array}{l} \text{〔環境セミ指数〕} \\ \text{環境評価指標(\%)} \end{array} \right] &= \left\{ \frac{\text{雨の降らない熱帯夜の日のアブラゼミの発鳴時間(h)} \times 100}{24(\text{h})} + \text{樹木率(\%)} + \frac{\text{セミの種数(種)} \times 100}{4(\text{種})} \right\} \div 3 \\ \left[\begin{array}{l} \text{〔環境セミ指数〕} \\ \text{環境評価指標(\%)} \end{array} \right] &= \left\{ \frac{\text{雨の降らない熱帯夜の日のアブラゼミの発鳴時間(h)} \times 100}{24(\text{h})} + \text{樹木率(\%)} + \frac{\text{セミの種数(種)} \times 100}{\text{測定データ日に確認された最大セミの種数(種)}} \right\} \div 3 \end{aligned}$$

図9 前述の「環境セミ指数」を求める計算式

測定場所	発鳴時間(h)	樹木率(%)	セミの種数(種)	〔環境セミ指数〕 環境評価指標(%)
東京都環境科学研究所	9	6.0	1	22.8
板橋区立高島第一中学校	11	6.2	2	34.0
大田区立御園中学校	19	10.4	2	46.5
東京都立富士高等学校	10	11.0	2	34.2
足立区立竹の塚中学校	15.5	17.6	3	52.4
東京大学農学部	17	22.0	3	55.9
徳丸が原公園	20	27.6	3	62.0
赤塚公園	24	71.0	4	90.3

表2. 環境要素を用いた環境評価指標「環境セミ指数」

していると考えられる。さらに、ミンミンゼミとアブラゼミで雨天時の発鳴はほとんどないことから（図6b）、体が濡れる、または、雨によって体温が下がるとセミは鳴かない可能性が考えられる。また、ツクツクボウシとヒグラシは、樹木率の高い場所で発鳴する傾向が見られたことから、これらの種は薄暗い場所を好むと考えられる。

（2）図7より、雨の降らない熱帯夜の日において、樹木率が高いほどアブラゼミの発鳴時間が増え、これらは線形近似の相関係数（ $R=0.7962$ ）と強い相関を示した。このことから、セミにとって樹木率が快適に生息できる一つの環境要因になっていると考えられる。また、今回の測定点（都市部）では、樹木率と緑被率にほとんど差がないが、郊外に行くほどこの差は大きくなると考えられる。しかし、セミの幼虫の生息範囲から比較対象として緑被率より樹木率を用いる方が妥当であると考えた。

（3）図8より、（2）結果と同様に、雨の降らない熱帯夜の日において、樹木率が高いほどセミに種数が増え、線形近似の相関係数（ $R=0.845$ ）と強い相関を示した。その結果、線形近似の決定係数（ $R^2=0.7141$ ）より、 R^2 値が0.5～0.8だったため、回帰式が成立する可能性が高いことが示された。また、線形近似の相関係数（ $R=0.845$ ）より、 R 値が0.7以上であったため、強い正の相関関係が示された。これは、環境が悪化（樹木率の低下）に伴い、セミの種数が減少すると考えられる。この結果は、セミ類の種構成には入れ子構造が認められ、地球温暖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とされる先行研究結果と一致した^{3),5)}。

（4）表2より、今回の各測点の環境評価指標「環境セミ指数」の値は、分かりやすく妥当な環境評価ができたのではないかと考えている。なぜなら、

（1）の実験結果より、雨の降らない熱帯夜の日において、各測定場所は最低気温が23℃以上となり、アブラゼミが24時間発鳴できる条件を満たしている。また、（2）（3）の実験結果より、雨

の降らない熱帯夜の日におけるアブラゼミの発鳴時間と樹木率、アブラゼミの発鳴時間とセミの種数との強い正の相関関係が示された。よって、3つの要素（1日のアブラゼミの発鳴時間の割合を百分率（%）、樹木率（%）、セミの種数を用いたデータの最大種数（4種）で割った割合の百分率（%））を合計を要素数（3）で割ることで、環境評価指標（%）を百分率で表している。よって、その範囲が0～100%となり、観測場所の地球温暖化の進捗を把握しやすくなるように工夫しているからである（表3）。

「環境セミ指数」環境評価指標（%）	0 ←———— 50
地球温暖化の進捗	1 0 0
	(大) ←———— (中)
	(小)

表3. 「環境セミ指数」環境評価指標（%）と地球温暖化の関係

さらに、今回、新たな環境評価指標「環境セミ指数」を開発するにあたり、場所を問わず誰でも（小学生でも）活用できることを目指し、開発を行った。本研究を行うにあたり環境データの測定では、データ収集に苦労したり、測定器が高額であったりしたが、雨の降らない熱帯夜の日に限ったことで、気象庁のHPを活用することで解決できた。その結果、ICレコーダーとインターネットさえあれば、セミの発鳴、樹木率を測定でき、身近な場所の環境評価を出すことができる。ただし、アブラゼミの発鳴時間の最大値を24hとし、都市部でのセミの夜鳴きを考慮しているため、本環境評価指標は都市部に特化したものとなっていると考えられる。都市部以外では夜にセミが鳴かない可能性が高く、アブラゼミの発鳴時間の最大値を変更する必要があると思われる。

8. まとめ

本研究のまとめは、以下のとおりである。

（1）各測定点におけるセミの発鳴の変化や特徴（7月から9月）を調べることができた。

その結果、アブラゼミが 23℃前後で発鳴することなどが分かった。

(2) 雨の降らない熱帯夜(最低気温:25℃以上の夜)の日における樹木率とアブラゼミの発鳴の間に強い正の相関関係を示すことを明らかにすることができた。

(3) 雨の降らない熱帯夜の日における樹木率とセミの種数の間に強い正の相関関係を示すことを明らかにすることができた。

(4) 雨の降らない熱帯夜の日におけるアブラゼミの発鳴時間と環境データを用いて新たな環境評価指標「環境セミ指数」を開発・提案することができた。

9. 今後の課題

今回の結果(樹木率とセミの発鳴時間/セミの種数の相関関係、環境評価指標「環境セミ指数」)の有効性を判断するには、まだ測定点や測定データが不十分である。また、今回の環境評価「環境セミ指数」は、都市部の特化したものであるため、都市部以外の測定データとの比較も必要である。今夏の測定データの解析を進めながら、来年度はさらに測定場所を増やし、検証を重ね、さらに精度の高い環境評価指標「環境セミ指数」を開発していくことが今後の課題である。将来的には、この指数を各地域で活用し、多くの人に地球温暖化が与える自然環境への影響について関心を深めてもらいたい。この「環境セミ指数」が地球温暖化に対する人々の意識を変え、自然環境の保全へと働きかける第一歩となることを願って、これからも研究を続けたい。

10. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、一貫してご指導頂いた本校教諭の向雅生先生、測定に協力して頂いた東京都環境科学研究所の常松展充先生、首都大学東京の高橋日出男教授、東京大学の八木信行教授にお礼を申し上げます。また、本研究の基礎を築いてくださった宮澤拓実先輩と松下直矢先輩、

実験を手伝ってくれた後輩の菊地郁香さん、前田乃愛さん、関根歩未さんにご協力頂いた全ての方にお礼申し上げます。本当にありがとうございます。

11. 参考文献

- 1) 浜口哲一(1994):指標生物—自然を見る物差し(フィールドガイドシリーズ),平凡社,日本自然保護協会,274-277pp
- 2) 内藤通孝(2019):名古屋東山周辺の昆虫相:椋山女学園大学研究論集第50号(自然科学篇) III. 半翅(カメムシ)目 (4) セミ科 57-71
- 3) 浜口哲一(1998):生き物地図が語る街の自然:岩波書店,52-67pp
- 4) 林正美・税所康正(2011):日本産セミ科図鑑:誠文堂新光社,10-14pp
- 5) 徳江義宏・今村史子・大澤啓志(2013):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:ランドスケープ研究 76(5), 465-468