

羽化殻からみたセミと樹種の関係 1

— 特にアブラゼミ発生数に対する土壌硬度の影響 —

磯 辺 ゆ う

奈良学園大学奈良文化女子短期大学部

Cicada - Plant Relations 1, from Surveys of Exviae : Especially the Influence of Soil Hardness on Quantity of Emergence of *Graptopsaltria nigrofuscata* (Insecta: Hemiptera)

Yu Isobe

Naragakuen University Narabunka Women's College

奈良学園高田キャンパスにおけるセミの羽化殻からみた発生数と樹種との関係について毎木調査の結果を報告する。2009年の1回目の調査に対し、2回目の'18年では調査範囲を拡大し土壌硬度も調べた。主に出現したのはアブラゼミとクマゼミで、クマゼミはケヤキ、エノキ周辺に多く、アブラゼミは多くの種に広く分布する。本稿では特にメタセコイア、ソメイヨシノ、ナンキンハゼ、カイツカイブキでのアブラゼミの発生数に着目する。調査を2回実施したメタセコイア区域では、9年を経て同一木でもアブラゼミの発生数にかなりの変化があり、その変化は個体（木）により異なっている。同一樹種内でのアブラゼミ発生数は基本的に個体（木）の大きさに関わっているが、2018年の調査によると、同一樹種内でのアブラゼミの発生数は土壌硬度に強く影響される。並行的な関係というよりはむしろ、ある程度以上の硬さになると一律に少なくなる傾向を示している。セミ発生数は、木の生長度や枯れに見える健康状態もよく反映する。樹木をとりまく環境に変化があったとき、土壌硬度の変化はアブラゼミ幼虫と直接的に関わる可能性があると同時に、それと連動するであろう樹木の健康状態に応じてアブラゼミの発生数は変化するものと考えられる。

キーワード：セミ類、樹種、土壌硬度

1. はじめに

セミの種構成は自然度を示すよい指標の一つとされ¹⁾、環境評価等の観点からセミの羽化殻調査が各地で行われており、一般市民参加型の継続調査も多い。こうした中、発生数に年次変動があることがよく知られている一方、分布変化や相違について温暖化、都市化の観点から論じられることもよくある^{2~4)}。セミの分布、種構成に影響する環境要因については、土壌水分・土壌硬度などのほか植生・林層、開空

度・明るさといった樹林との関係や周辺も含めた土地被覆状況等々が検討されてきた⁵⁻⁸⁾。

セミは樹木と深い関係をもっているため、樹種との関係も重要になってくるが、従来の研究では優占種による樹林タイプ^{5, 6)}、あるいは高さによる樹林区分^{7, 8)}との関係性を調べる事が多く、個別の樹種に関する研究は少ない。1例報告⁹⁾があるが、その他は断片的な情報に留まっている¹⁰⁾など。セミが発生する樹種について考えるとき、さまざまな要因がからみ、単純ではないことが予想される。特に注意が必要なのは、樹種によりセミとの関係の深さが異なっている可能性があること、対象の木に対して周囲の樹種の影響を無視できないことである。調査地に複数の樹種が混在していることが多く、しかも樹木環境に影響する道路、建物等との関係も含めそれぞれの木が置かれた状況が異なるため、報告によって異なる結果が出ることもあり得る。セミと樹種との関係は、セミの生活環の時期によっても異なってくるだろう。羽化殻による調査は主に産卵、幼虫の発育、羽化場所選択の結果をみるものである。幼虫の発育に関し木の健康状態も考えに入れようとする、林層や樹種間による比較だけではなく、同一樹種内での毎木での比較が有益となるに違いない。樹種嗜好性を調べようとする米澤らの研究⁹⁾も各樹種をまとめて扱っており、まだ毎木での報告は無い。そのためセミの発生数と樹種との関係はあまり明快とはいえず、その関係に対する環境の影響も不明瞭なままであった。毎木調査に加え、その場所の環境を改変する大きな出来事の前と後で調査が行われると、得られる情報は大きいと思われる。

さらに、クマゼミの増加が、温暖化と土壌の硬化によるという考え^{4, 11)}と、そうではなく特定の樹種の植栽による⁹⁾、という見解の相違もある。セミ幼虫は地下で育ち、産卵から成虫の餌にいたるまで植物に依存しているので、セミの環境指標性あるいは温暖化とセミの関係の背後には、土壌との関係および樹木との関係の両方が絡んでいることになる。つまりセミの生存に影響を与えるものとして、環境変化そのもの、環境変化に由来する土壌硬化、それによる植物の成長や健康状態の変化などが考えられる。

今回、セミと植物の関係（樹種、大きさ、健康状態）を知ること、環境要因として土壌硬度が発生数にどのような影響を及ぼすのかを知ることが目的として、調査区域内の毎木調査を行った。調査地は改築のために大きな改変を行っており、その直前と後9年の間をおいての計2回の調査である。対象には同一木も含まれておりこの間の変化をたどることができる。その結果の中から、本稿では特に、改築による改変をほとんど受けなかった区域について報告する。そこでは、セミ発生数が多く、しかもアブラゼミ *Graptosaltria nigrofuscata* をよく産する同一樹種が列になって配列されている。そのため本稿の内容はアブラゼミの発生量に関する木の個体間比較が中心となる。その他の区域、各樹種の区域間の比較、クマゼミ *Cryptotympana facialis* の特性については次の稿にまわすこととする。

2. 調査地の概要

奈良県大和高田市と葛城市にまたがる奈良学園高田キャンパスを調査地とした。ここは元来田畑であった所に、1965年（昭和40年）4月に奈良文化女子短期大学（現奈良学園大学奈良文化女子短期大学部、以下短大）および同付属高等学校（現奈良文化高等学校、以下高校）が設置され、周囲は今も田畑が中心になっている。ここでの樹木群は主として開学から約30年の間に植栽されたものが中心となってお

り、2006年、その状態のキャンパス内植物について筆者がまとめている¹²⁾。その頃キャンパスにはセミが大変多かった。

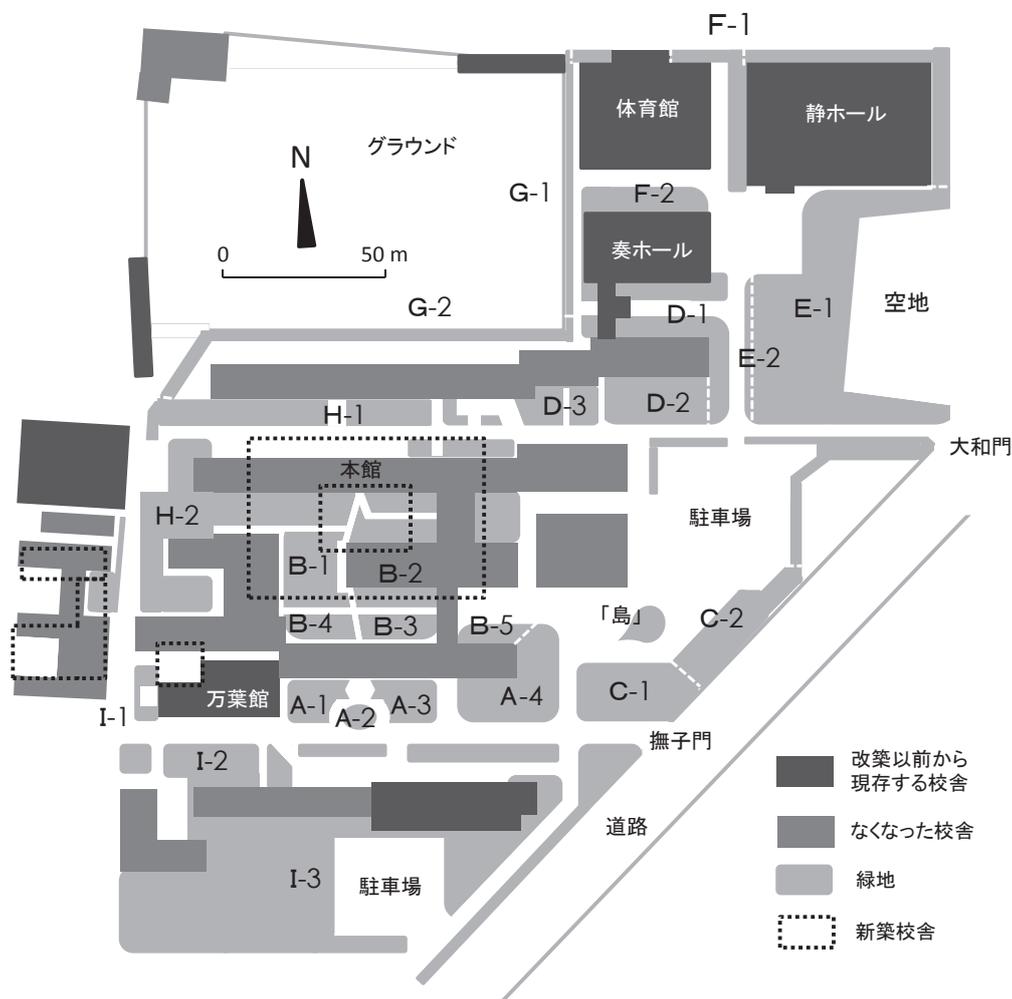


図1 調査地

建物、緑地は改築以前の状態を、A～Iは調査区域、白い破線は調査区域の境界を示している。

短大の登美ヶ丘キャンパスへの移転後、2010年（平成22年）高校の改築が行われ、翌年3月に竣工した。改築前、キャンパスは短大と高校が共用していたため、多くの校舎があった。図1に、調査場所の区画を2009年当時の状態で示した。その時キャンパス内の樹木はできるだけ残す方針がとられ、今も残っている樹木が多く存在する。また改築に先立ちキャンパス内の全木について、設計会社により種、配置、大きさ（幹周、高さ、葉張）が調査され、そのデータ¹³⁾が残されている。

新築部分は図中点線で示したとおりである。校舎は中



図2 新校舎 手前はC-2の前にある緑地「島」のメタセコイア 2018.8.4

央の本館（口の字形の点線部分）（図1、2）に集約され、本館周辺の旧校舎跡は、A、B区画間、H-2区画付近が広い緑地に、本館東の正面が広大な広場に、北側のH-1からDにかけての校舎跡がテニスコートと自転車置き場になった。またI-2、3の周辺は、全て緑地となって現在桑畑になっている。全体としてキャンパスは多くの校舎の間に緑地がある状態から、大きな校舎の周囲に広い空間が出現している形になっている。

樹木ができるだけ残されたため、9年の間において多くの同木での調査が可能となった。調査にあたって図のようにキャンパス内を区域に分けた。その中で今回報告する区域は、キャンパス東側のC-1、2、E-1、2、F-1、2、で、改築による特別な改変を受けていない。一方最大の改変を受けた所はB-1～4で、残っている樹木は少ない。A-1～4では多くの樹木が残り、B-5、D-1～3、I-2ではほとんどが残っているが、いずれも近くの建物が無くなり、日照、通風が高まっている。逆にH-1では、樹木は残されたが新校舎によって日照が減じている状況である。その他のキャンパス西部から南部にかけての区域は、樹木とその周辺に改築に伴う大きな改変はみられないが、セミ発生数が少ない場所として詳細は次稿で取り扱うことにする。なお、C-1、2の西側駐車場に小さな島状の緑地があり、これを「島」と呼ぶ。

3. 方法

キャンパス内の主な場所を区域ごとに、セミの羽化殻を樹木と関係付けて記録、採集した。2009年の場合毎木調査は一部であったが、2018年ではほぼ全ての調査区域で実施した。

2009年の調査区域は表2のとおりである。各区域内の樹木の同種集団ごとにセミの羽化殻の種、雌雄（クマゼミとアブラゼミのみ）、採集場所（木の上か地上か）を判定して記録し、地上分も含め全て採集した。メタセコイアとケヤキの区域では毎木調査を行った。落下した羽化殻の木への所属は、樹冠から判断した。調査は2009年の場合、7月3日から9月25日までのほぼ1週間ごとに実施した。最初に羽化殻が見つかったのは7月11日で、発生数が多い時期には週2回以上の調査を行った。羽化殻の落下状態には風が影響する可能性があるが、気象庁のデータ¹⁴⁾によると2009年7月1日から9月末までの間近くの観測点である奈良で最大風速6.8m/s、五条で8m/sが最高となっており、特に強い風が吹いた状態ではなかった。

2018年では、より多く比較できるように調査区域を広くし、樹木個体間の相違が明らかになるようにほとんどの区域で毎木で種と採集場所の記録を行った。記録時雌雄の区別は行わず、区域ごとに採集した羽化殻を持ち帰って後、クマゼミとアブラゼミについて性の判別を行った。羽化殻の調査は7月28日・30日、8月4日・5日、16日・17日、29日・30日に実施した。この間2回台風が通過し、それぞれ最大風速13.7、15.1m/s（奈良）17.3、15.5m/s（五条）であった。7月28日と8月23日の夜である。7月28日の場合、当日台風前にできる範囲の採集と未採集の木の樹上にある殻の観察を行い、30日に改めて採集した。樹上にあった羽化殻の落下状態を見ると、特に広がって落下している様子はなく、本来あった木の下に落ちているようで傷みもなかった。8月の台風も7月と同程度で大きな影響はなかった。

2009年の樹木の大きさに関しては、2008年に実施された(株)福本設計による「奈良学園高田キャンパス現況調査図と樹木調査一覧表(平成20.04.10)」を活用した¹³⁾。2018年については、木ごとに幹周(130cm高さ)と土壌硬度の測定を行った。土壌硬度測定は、山中式普及型土壌硬度計(株)藤原製作所)を用い、8月30日の午前中に実施した。値はmmで表される指数である。木の根元の周囲東西南北4点について、根元から約1mの場所で測定し、平均をとった。2018年は8月31日まで記録的に暑く降雨の少ない夏であったが、9月1日から一気に多雨で涼しくなった。こうした暑い乾燥した頃の土壌硬度である。一部測定できなかった区域があるが、天候変化により比較困難となったため、データを追加しないこととした。幹周の調査は、8月30日、9月9日、14日に実施し、幹周測定高である樹高130cm以下で大きな枝分かれがあることが多いサクラ、ケヤキ、カイヅカイブキは樹高30cmでの直径も測定し補足とした。枝分かれが多く幹周が測定できないサザンカ、ヤブツバキ等についてはおおよその樹高を目測した。

検定はExcel2016で計算した。

以下の記述にあたって項目が多く煩雑になるので結果を次のように分け、それぞれに目次と考察をつけ最後に全体のまとめと考察を加えることにする。区域内の結果については、キャンパス東側の区域について、特徴が明快な所から述べていくことにする。

結果以降の全体の目次

4. 結果1－全体の概要
5. 結果2－Cメタセコイア域におけるセミの発生数と樹種の関係－アブラゼミとメタセコイアを中心に 2009、2018
6. 結果3－F体育館周辺におけるセミの発生数と樹種の関係－アブラゼミと桜を中心に 2018
7. 結果4－E空地周辺におけるセミの発生数と樹種の関係－クマゼミ・アブラゼミと数種の樹種について
8. まとめと考察

4. 結果1－全体の概要

結果1の目次

4. 1 総数
4. 2 調査区域別発生数の概要
 4. 2. 1 両年で共通する区域
 - ① 2009年の場合
 - ② 2018年の場合
 4. 2. 2 2018年独自の調査区域
4. 3 全体についての考察

表1 採集された羽化殻の総数

調査年	2009年	2018年	
クマゼミ	総数	230	597
	♂	98	266
	♀	124	302
	不明	8	29
アブラゼミ	総数	2,263	2,699
	♂	1,106	1,450
	♀	1,121	1,180
	不明	36	69
ニイニゼミ	総数	12	4
ツクツクボウシ	総数	4	5
合計		2,509	3,305

4. 1 総数

採集された羽化殻の総数は表1のとおりである。総数が2009年よりも2018年のほうが多いのは、調査範囲を広くしたことが大きな原因である。両年ともアブラゼミが圧倒的に多く、全体の90.2%（2009年）、81.7%（2018年）を占め、クマゼミは9.2%（2009年）、18.1%（2018年）であった。2009年に比べて2018年の採集数はクマゼミでは2.6倍、アブラゼミでは1.2倍となった。一方、ニイニゼミ、ツクツクボウシは両年ともわずかに採集されたのみである。

2018年は8月末に羽化殻調査を打ち切ったが、多くの区域で採集数は0になっており、まだ殻が採集できたのはCDEだけであった。経過の観察から9月分として予想されるのは、それまでのほぼ1%程度で、大勢に影響は無いと考えられる。

4. 2 調査区域別発生数の概要

4. 2. 1 両年で共通する区域

① 2009年の場合

調査した区域は、表2のとおりである。この時以前の観察からセミが多く羽化し、調査しやすい場所としてA～Dを、比較としてナンキンハゼが並んでいるE-2を選んだ。

ニイニゼミは、個体数は少ないが広く羽化していた。ツクツクボウシはさらに少ないので、はっきりしないが、ニイニゼミより狭くD-1、2に限られていたようである。

アブラゼミは広範囲にわたって多数羽化していた。アブラゼミとクマゼミの分布傾向はかなり異なっており、そのためクマ/アブラ比は区域により大きな差があった。圧倒的にアブラゼミが多かったのは、C-1、2でメタセコイアが主となる区域である。A-1は面積が小さいにも関わらず発生数はより広いD-1、2に匹敵し、種構成もツクツクボウシ以外はよく似ていた。同時にクマ/アブラ比が最大であったが、ここはケヤキが中心となる区域である。

表2 調査区域別羽化殻総数 2009

調査区域	A-1	B-1～3	C-1,2	D-1,2	E-2	合計
クマゼミ	100	33	4	93	0	230
アブラゼミ	351	498	1,041	361	12	2,263
ニイニゼミ	2	1	7	2	0	12
ツクツクボウシ	0	0	0	4	0	4
合計	453	532	1,052	460	12	2,509

② 2018年の場合

A-1、B-1～3で激減していた（表3）のはキャンパス改変が大きな原因である。クマゼミ、アブラゼミともに減少していたが、特にアブラゼミの減少が著しかった。B-1～3は最も改変された場所であり、セミ羽化殻総数の減少は当然であるが、残っている樹木でも減少が激しかった。A-1でも同様である。ほとんど改変されなかったC-1、2でもアブラゼミがやや減少していた。D-1、2では樹木に大きな改変は行われていないが、中央の建物が無くなるという状況下で、クマゼミ増加、アブラゼミ減少という結果であった。

表3 調査区域別羽化殻総数 2018 2009年と共通する区域

調査地域	A-1	B-1~3	C-1,2	D-1,2	E-2	合計
クマゼミ	39	12	2	137	3	193
アブラゼミ	19	6	862	162	43	1,092
ニイニゼミ	0	0	3	0	0	3
ツクツクボウシ	0	0	0	0	0	0
合計	58	18	867	299	46	1,288

一方、非常に少なかったE-2の樹木は定期的な剪定以外特別な改変は周囲も含めて行われていない中、やや増加の傾向を示していた。ニイニゼミは少ないながら2009年には広く分布していたのが、さらに減少し、Cで見られたただけであり、ツクツクボウシは出なかった。

2009年と2018年の間のセミ発生数の変化の様相は、調査区画によっても、セミの種によっても違っているようである。

4.2.2 2018年独自の調査区域

E-1での発生数が最多であった(表4)。ここは面積も広く、樹木数も多い。一方、調査区域中クマゼミ比率が最も高い区域はA-4で、次いでD-3であった。反対に同比率が低い所はF-1であった。

全体に発生数が少なかったのは、グラウンドに面したG-1、2、新校舎西側のH-2、西と南で広く開放的になったB-5、I-1~3という南と西からの日射の強い区域であった。新校舎によって日照が減じたのはH-1で、セミ発生数は極めて少なかった。

表4 調査区域別羽化殻総数 2018 2009年と共通しない区域

調査地域	E-1	F-1	F-2	G-1,2	H-1,2	D-3	A-4	B-5	I-1~3	合計
クマゼミ	157	3	16	1	1	40	168	5	13	404
アブラゼミ	1,000	307	60	16	2	48	124	9	41	1,607
ニイニゼミ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
ツクツクボウシ	3	2	0	0	0	0	0	0	0	5
合計	1,160	312	76	17	3	88	292	14	55	2,017

4.3 全体についての考察

総数では両年ともクマゼミとアブラゼミが中心で、ニイニゼミとツクツクボウシは少数だった。この種構成は、アブラゼミは都市近郊では植栽地に多いという徳江・大澤⁶⁾の結果に一致し、また大阪府下では大阪市内と山地の中間程度の公園¹¹⁾に近いという結果となった。調査区域では全体としてCDE、A-4で多く、総じてキャンパス東側での発生が多く、西側で少なかったようである。

異なる年による発生数を比較しようとするとき、セミの発生数は大きな年変動をすることが知られており^{3, 4)}、注意が必要である。2009年と2018年の羽化状況をみたとき、改築に伴う改変が少なかったC-1、2とE-1では、それぞれやや減少か増加という結果となっており、A-1やB-1~3での大幅な減少はセミ発生数の年変動というよりは、キャンパス改変の影響が最大の要因であることがわかる。

また、キャンパスの東西でセミ発生量が異なってみえる点については、東では土壌面及び樹木の並びに幅があること、樹木数が多いことが第一に注目される。

各区画の発生数は、その区画の物理的環境条件とそこにあるセミに関わる樹木の種と数と密集の仕方に加えて各樹木個体の貢献度が関わってくるに違いない。貢献の内容は様々で、セミを発生させるに当たって、産卵、幼虫の生育、羽化の全てに関わる場合、その一つあるいは二つに関わる場合等が考えられる。また区画間でクマゼミ比率が大きく異なることから、クマゼミとアブラゼミの分布に影響する要因が異なることが予想される。

以下キャンパス東側の改変が少なかった区域について、各調査区域内の樹木の個体別に、セミ発生数との関係を検討していく。

5. 結果2—Cメタセコイア域におけるセミの発生数と樹種の関係 —アブラゼミとメタセコイアを中心に 2009、2018

結果2の目次

- 5. 1 区域の概要—Cメタセコイア域
- 5. 2 C-1 メタセコイアC1域
 - 5. 2.1 2009年の樹種別発生数 (C-1)
 - 5. 2.2 2018年の樹種別発生数 (C-1)
- 5. 3 C-2 メタセコイアC2～10域
 - 5. 3.1 2009年の樹種別発生数 (C-2)
 - 5. 3.2 2018年の樹種別発生数 (C-2)
- 5. 4 メタセコイアの大きさ、土壌硬度と発生数との関係
 - 5. 4.1 メタセコイアの大きさ(幹周)とアブラゼミ発生数との関係 2009
 - 5. 4.2 メタセコイアの大きさ(幹周)とアブラゼミ発生数との関係 2018
 - 5. 4.3 土壌硬度とアブラゼミ発生数との関係 2018
 - 5. 4.4 メタセコイアの生長(幹周比)、先枯れとアブラゼミ発生数との関係 2018
 - 5. 4.5 幹周・土壌硬度・幹周比とアブラゼミ発生数との重回帰分析 2018
- 5. 5 メタセコイア域についての考察



図3 C-1、2のメタセコイア 西側駐車場から調査対象はメタ1～10。右端は緑地「島」(図4)にあるメタセコイア「メタ-島」で、メタ1、2は背後になって見えない。メタ-島は対象外であるが、文中に出てくる。2018.8.5

以下の表では、樹種ごとにまとめ、1本あたりの発生数を示している。同一樹種でも、グループにより相違がある場合、分けて表示した。木は1本ごとに番号をつけ区別した。それぞれ番号の前に区域を示すアルファベット記号がついているが、区域内での記述では煩雑さを避けるためにその記号を省いて述べる。

5. 1 区域の概要—Cメタセコイア域

2009年、2018年とも毎木調査を行った。ほとんどの樹木がそのまま残っている。中心となるメタセコイアが一行に並び、道路側すぐそばに平行してクスノキが並んでいる（図3、4）。二つに区分された区域の中で、小高くなったC-1では、メタセコイアC1（以下メタ1）とハナミズキ10本が中心になり、いずれの樹冠にも覆われない草地在広がっている（図5）。

C-2では、クスノキの列がやや高い堤上にあるが、メタセコイアを含む西側は低くなり、西縁では通路、駐車場と同じ高さになる。クスノキ列から東の道路側は溝があり傾斜が急であるため、図中点線から東については調査域外とした。図示されていない低木が散在しているが、セミの羽化殻は観察されなかった。C-2には低木が多く、ヒヨクヒバ以外はメタセコイア9本の樹冠に完全に覆われている。ヒヨクヒバは低木群の中では比較的高く、メタセコイア樹冠と接しているが、西側からよく見える状態である。

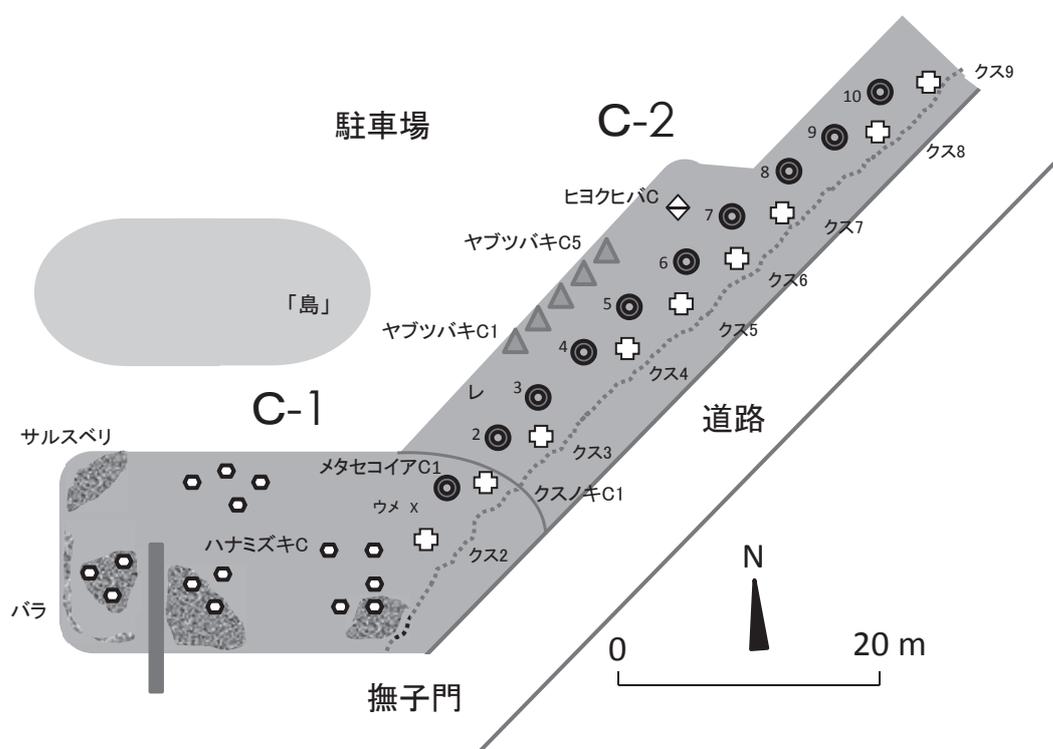


図4 C-1、2の樹木配置 2018年の状態

西端のサルスベリは、2009年当時サザンカがあったが、状態悪化により改築後植え替えられたもの。ハナミズキの根元には一部笹がある。道路と調査区域間には溝があり、破線外側は崖状で、小木がメタ2～4あたりにある。2009年（図1）とは「島」の形状が変わった。レ：レンギョウ（2009年にはあったが、2018年にはない）。アジサイは省略。

この区域では2009、2018年ともに圧倒的にアブラゼミが多く、クマゼミ、ニイニゼミはわずかで、ツクツクボウシは羽化しなかった（表2、3）。

5. 2 C-1 メタセコイアC1域

5. 2. 1 2009年の樹種別発生数 (C-1)

メタ1が影響を及ぼす範囲を、樹冠範囲から判断して、近くにあるクスノキ2本、ハナミズキ東（以下ハナ東）の5本とした。ハナ東の全てを覆っているわけではないが、集団として取り扱った。中央（図5）と西のハナミズキ10本と西縁を縁取っているサザンカ、バラはメタ1から離れており（図4）、影響は少ないと考え、別の群とした。

メタ1の1本で非常にたくさんのアブラゼミを産したが、クマゼミは0であった（表5）。第2位はクスノキ（以下クス）であるが、クス1（2008年幹周102cm）が全39個体を発生させ、クス2（83cm）は0であった。クス1、2、ハナ東もメタ1の影響下にあるとすると、合計で200個体を産出したことになる。ハナ中央・西の樹木群では、多くはないが偶発的とはいえない程度に羽化しており、ハナミズキは独自にアブラゼミを産していると考えられる。



図5 C-1 ハナミズキ中央と草地

背後のメタセコイアは調査区域外のもの。2018.8.4

表5 C-1 1本あたりの樹種群別羽化殻数（総数） 2009

樹種と本数	メタセコイアC1 1本	クスノキC1,2 2本	ハナミズキC 東 5本	ハナミズキC 中央・西 10本	その他	合計
クマゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
アブラゼミ	158.0 (158)	19.5 (39)	1.0 (5)	4.0 (40)	0 (0)	(242)
ニイニイゼミ	3.0 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(3)
ツクツクボウシ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
合計	161.0 (161)	19.5 (39)	1.0 (5)	4.0 (40)	0 (0)	(245)

5. 2. 2 2018年の樹種別発生数 (C-1)

以下（ ）内は特に記さない限り2008年→2018年の幹周および2018年の土壌硬度である。セミの発生数は2009年に比べ、メタ1（205→228cm、12.0）およびクスノキ2本（102、83→109、88cm、12.0、13.0）でほぼ半減した（表6）。発生数はクス1が20、クス2が2で、クス1での減少である。ハナミズキ（2018年低位で枝分かれしている木が7本あり、単純に比較できないので、130cm高さで枝分かれしていない8本と比較すると34～45→41～64cm、全てのハナミズキ土壌硬度14.8～19.7）の場合発生数に大きな変化はなかった。いずれも木は育っているにも関わらずの減少あるいは変化なしであった。

「その他」の中で、改築後植えられた小さなウメも、サザンカと交替したサルスベリも特にセミ羽化に関与していなかった。羽化していたのはバラの枝である。バラはまだ高さ1m程度の小木で、ハナミズキに関係したアブラゼミの幼虫が羽化の足場としたものと考えられる。

表6 C-1 1本あたりの樹種群別羽化殻数（総数） 2018

樹種と本数	メタセコイアC1 1本		クスノキC1,2 2本		ハナミズキC 東 5本		ハナミズキC 中央・西 10本		その他	合計
クマゼミ	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(0)	(0)
アブラゼミ	83.0	(83)	11.0	(22)	1.8	(9)	3.6	(36)	(1)	(151)
ニイニイゼミ	1	(1)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(0)	(1)
ツクツクボウシ	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(0)	(0)
合計	84.0	(84)	11.0	(22)	1.8	(9)	3.6	(36)	(1)	(152)

5.3 C-2 メタセコイア C2～10域

5.3.1 2009年の樹種別発生数（C-2）

メタ2～10の景観は図6のとおりで、クスノキの付近がやや高く、右（西）に向かって低くなっている。

メタ2～10の発生数は1本あたりメタ1の半分程度であった（表7）。メタセコイア以外の樹木の中では、クスノキがC-1に比べて少ない（発生数C-1：19.5、C-2：2.9）のに対し、ヒヨクヒバが多くを産した（39.0）。ニイニイゼミとクマゼミの発生数は少なく、ツクツクボウシは出なかった。一方、低木のレンギョウ、ヤブツバキでもアブラゼミが羽化していた。アジサイはまだない。



図6 C-2の樹木列

メタ6から2の方向。メタ6の後方左右にク：クスノキ、根元にはア：アジサイ、その右奥にヤ：ヤブツバキが見える。ヒ：ヒヨクヒバ。2018.8.5

表7 C-2 1本あたりの樹種別羽化殻数（総数） 2009

樹種と本数	メタセコイア C2～10 9本		クスノキ C3～9 7本		レンギョウ 1株		ヤブツバキ C1～3 3本		ヒヨクヒバC 1本		合計
クマゼミ	0.4	(4)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(4)
アブラゼミ	80.3	(723)	2.9	(20)	8.0	(8)	3.0	(9)	39.0	(39)	(799)
ニイニイゼミ	0.3	(3)	0.1	(1)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(4)
ツクツクボウシ	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	0	(0)	(0)
合計	81.1	(730)	3.0	(21)	8.0	(8)	3.0	(9)	39.0	(39)	(807)

5.3.2 2018年の樹種別発生数（C-2）

発生数は区域全体でも、メタセコイア（123～198→145～203cm、12.3～19.0）だけでもやや減少した（表8）。2009年同様に、ニイニイゼミとクマゼミが少数羽化し、ツクツクボウシは出なかった。

レンギョウが枯れ、アジサイ多数とヤブツバキ2本が新たに植栽された。ヤブツバキ（ヤブ1～3：樹高1.5～2→1.8～2.2m、追加のヤブ4、5：1m、12.5～18.3）が6倍以上という増加を示したのに対し、ヒヨクヒバ（60→68.5cm、17.5）が約1/4に減少した。特にヤブツバキ1、3が大きく茂る一方、ヒヨクヒバは葉の茂りに力がない。クスノキでの発生数は変化なし（枝分かれしたものを除くと幹周では68～120→76～129cm、C-2全てのクスノキで土壌硬度17.0～21.8）で、どの樹種よりも少なかった。

ここの土壌は高い位置にあるためか、他の樹木よりも硬く、また同レベルの高さにあるC-1のクス1よりも硬かった。新たに追加されたアジサイはアブラゼミの羽化にかなり貢献した。特にメタ4、5の近くのアジサイに多かった。落下殻だけではなく木や葉の裏でも羽化しており、少なくとも羽化の足場として機能していることは確かである。ただこの区域ではメタセコイアが全体を覆っており、いずれの樹種もメタセコイアの影響下にあると考えられる。

表8 C-2 1本あたりの樹種別羽化殻数（総数） 2018

樹種と本数	メタセコイア C2~10 9本	クスノキ C3~9 7本	アジサイ 19株	ヤブツバキ C1~5 5本	ヒヨクヒバC 1本	合計
クマゼミ	0 (0)	0 (0)	0.1 (2)	0 (0)	0 (0)	(2)
アブラゼミ	53.6 (482)	2.9 (20)	7.5 (142)	19.0 (57)	10.0 (10)	(711)
ニイニイゼミ	0.1 (1)	0.1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(2)
ツクツクボウシ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
合計	53.7 (483)	3.0 (21)	7.6 (144)	19.0 (57)	10.0 (10)	(715)

5. 4 メタセコイアの大きさ、土壌硬度と発生数との関係

メタセコイア域では、圧倒的にアブラゼミが羽化したので、以下ではアブラゼミについて図示する。

5. 4. 1 メタセコイアの大きさ（幹周）とアブラゼミ発生数との関係 2009

2009年の場合、検討するのは幹周と発生数の関係だけとなる。メタセコイアのみの発生数とその影響下にあると考えられる樹種も含めた総発生数（影響下総数）とを並べた（図7）。各メタセコイアにおいて、影響下にある他の樹種による発生が少しずつみられたが、特に多かったのはメタ1のクス1およびメタ7のヒヨクヒバであった。なおクス2は発生数が0であった。

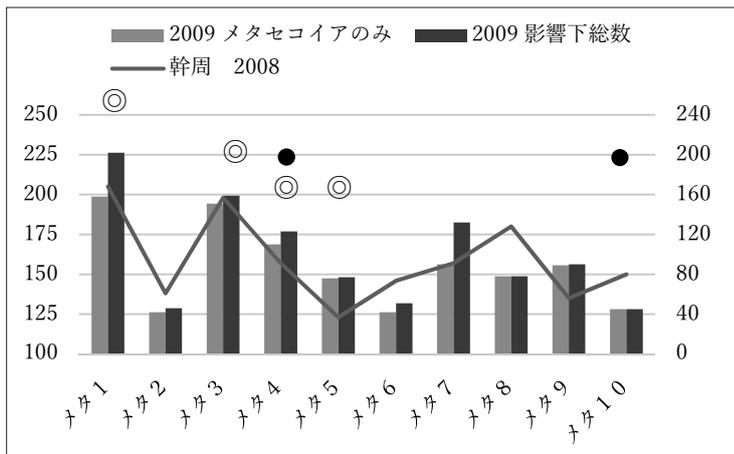


図7 C-1、2 メタセコイア幹周（2008）（左軸 cm）とアブラゼミ数（2009）（右軸）

○：ニイニイゼミ、●：クマゼミ発生木。

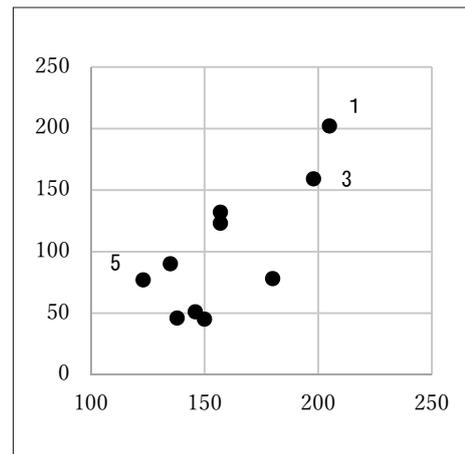


図8 C-1、2 メタセコイア幹周（2008）（横軸 cm）と影響下アブラゼミ総数（2009）（縦軸）

表9 C-1、2 アブラゼミ発生数と幹周との単回帰分析によるR²およびp

	メタのみ	影響下総数	メタ1、7から(一部)除外		
			影響下総数- (クス1)	影響下総数- (ヒヨクヒバ)	影響下総数- (クス1+ヒヨク)
R ²	0.5802	0.5750	0.5196	0.6109	0.5970
p	0.0105	0.0110	0.0187	0.0076	0.0088
有意性	*	*	*	**	**

*: <0.05、 **<0.01

幹周とアブラゼミの発生数には正の相関がみられ、基本的に木が大きい場合多くのセミを産したことになる(表9、図8)。幹周で最大はメタ1、第2位がメタ3、最小はメタ5であった。相関はメタセコイアのみでも、影響下総数でも有意だったが、メタセコイア以外で特に多かったクス1とヒヨクヒバ分を除くと、より相関は高まった。中でもヒヨクヒバのみを除外するケースが最も高い相関を示した。

樹高では、2008年当時メタ1が最高(18m)で、その他はメタ2~4(15m)、5、6(13m)、7~10(16m)と、メタ5、6が低かった。その様子は2007年の写真からもよくわかる(図9)。現在ほぼ同じくらいの高さになってきており、低かった木が徐々に追いついてきている状況である(図15)。ただメタ3~6は大きく横に枝を張り出しており、これらは横に、メタ7~10は上に伸びたともいえそうである。この状態を(メタ3で特に)ほぼ幹周が表しているのであろう。



図9 2007年4月24日のメタセコイア(樹木調査の前年、春、葉が出てきた頃)
メタ7、8の正面あたりからの撮影なので、右図はやや遠い。

5.4.2 メタセコイアの大きさ(幹周)とアブラゼミ発生数との関係 2018

2018年のメタセコイアの幹周とアブラゼミ発生数とは、大きく外れたメタ4、5を除くと、よく相関していた(メタセコイアのみ: $R^2=0.8225$, $p<0.001$ 、影響下総数: $R^2=0.8626$, $p<0.001$)(図11)。幹周第1、2位のメタ1、3はともに2009年に比べ大きく発生数を減らし、逆に幹周最下位だったメタ5がメタ9を追い抜き、同時に大幅に発生数を多くした。幹周中位のメタ4も大きく発生数を伸ばして、メタ3~5の順位が逆転した(図10)。メタ4、5ではメタセコイア自身に加えメタセコイア以外の樹木も

アブラゼミをよく発生させていたが、特にアジサイとヤブツバキが多かった。メタ1のクス1、2（特にス1）およびメタ7のヒヨクヒバは2009年程目立った発生数ではなかった。クマゼミは両調査年ともわずかに発生したが、その発生木は年により一定しなかった。一方ニイニイゼミの発生範囲は南側（メタ1側）にあったが、2018年ではさらに南に極限されてきている傾向があった。

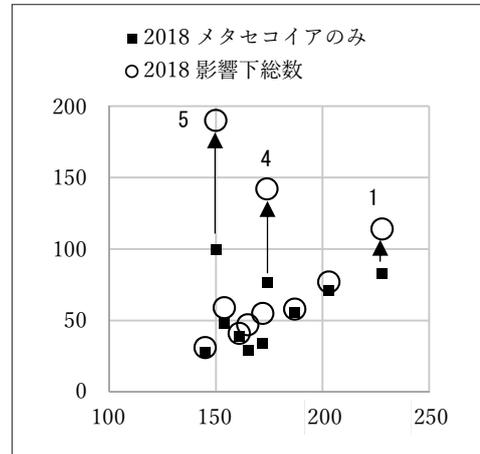
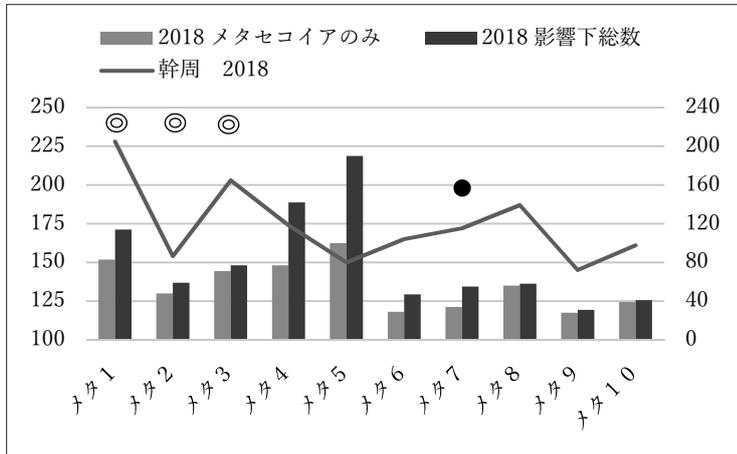


図10 C-1、2 メタセコイア幹周 (2018) (左軸 cm)とアブラゼミ数 (2018) (右軸)
○: ニイニイゼミ、●: クマゼミの発生木。

図11 C-1、2 メタセコイア幹周 (2018) (横軸 cm)とアブラゼミ数 (2018) (縦軸)

5.4.3 土壌硬度とアブラゼミ発生数との関係 2018

アブラゼミ発生数は土壌硬度が高まると減少し (図13)、メタセコイアのみでも影響下総数でも有意な相関を示した (表10)。特に多く発生させているメタセコイア以外の樹種について除外した場合を検討すると、メタ1におけるクス1、2を除外した場合を除き、いずれの場合も有意であった。しかし、最も相関が高かったのはメタセコイアのみの場合であった。この様子は散布図 (図13) 上にも現れており、メタセコイアのみでよく負に相関することがわかる。土壌硬度はメタセコイアで測定したものであり、周辺樹木分を含まない発生数がよく相関すると考えられる。

メタセコイア各個体でみると (図12)、土壌硬度 (12.3~19.0) は、メタ1~5 (南半分) とメタ6~10 (北半分) ではほぼ15を境にレベルが異なっていた。15以上の北側では羽化殻数もほぼ一律に50前後と少ない一方、15以下の南半分の中での発生数は大幅に相違していた。それは特に影響下総数で顕著であった。北グループでは高い土壌硬度がアブラゼミの発生を抑えているようにみえる。一方、南グループ

表10 C-1、2 土壌硬度とアブラゼミ発生数との単回帰分析によるR²およびp

	メタのみ	影響下総数	メタ1から削除		メタ4,5から削除		メタ1,4,5から削除
			影響下総数-クス1,2	影響下総数-ヤブ	影響下総数-アジサイ	影響下総数-(アジサイ+ヤブ)	影響下総数-(クス1,2+アジサイ+ヤブ)
R ²	0.5533	0.4482	0.3887	0.4919	0.5243	0.5105	0.4908
p	0.0136	0.0342	0.0541	0.0238	0.0179	0.0202	0.0240
有意性	*	*	n.s	*	*	*	*

*: <0.05、**<0.01

プの中ではメタ3の土壤硬度が他より高くちょうど境界の15であった。土壤硬度が低いグループの中でメタ2の発生数が少ないのは木が小さいことによるが、同様に小さいはずのメタ5での大幅な増加は他の要因がありそうである。なおメタ5と隣のメタ4は、他の樹種による羽化が多いことが特徴で、土壤硬度との関係では、メタ4、5の影響下総数からアジサイを除外した場合が2番目に高い相関を示していた(表10)。

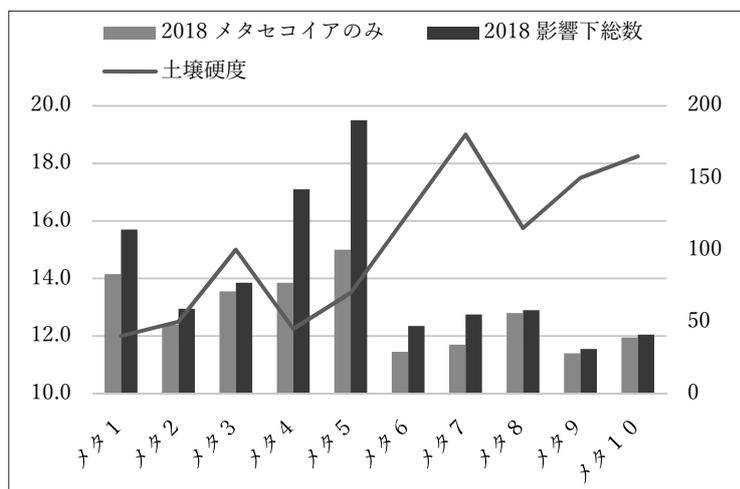


図12 C-1、2 土壤硬度(2018)(左軸 mm)とアブラゼミ数(2018)(右軸)

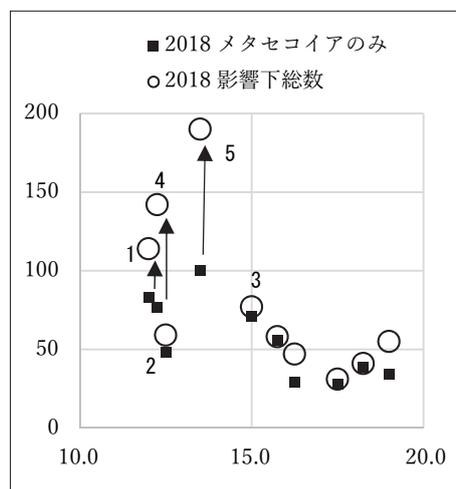


図13 C-1、2 土壤硬度(2018)(横軸 mm)とアブラゼミ数(2018)(縦軸)

5.4.4 メタセコイアの生長(幹周比)、先枯れとアブラゼミ発生数との関係 2018

2009年から2018年までのメタセコイアの成長度を幹周比でみると、問題のメタ3～5での発生数とよく一致した(図14)。相関関係は表11のとおりである。成長の度合い(幹周比)は、土壤硬度とは異なりメタセコイアのみ発生数に対しては有意な相関を示さず、影響下総数に対して有意であった。より高い相関を示したのはメタ1からクス1、2を除外した場合、その次がメタ4、5からヤブツバキを除外した場合であった。その他は有意ではなかった。

メタセコイアの状態をみると、アブラゼミ発生数が大きく減少したメタ3には先枯れがある一方、メタ4～6は元気であり(図15)、幹周比からもよく成長していることがわかる。この中でメタ6は良い成長を見せ元気であるが、メタ4、5と異なりセミ発生数は少なかった。植物の状態に関係なく、境界値を超えた土壤硬度が影響しているに違いない。メタ3もやや土が硬く、幹周比が最も低かった。

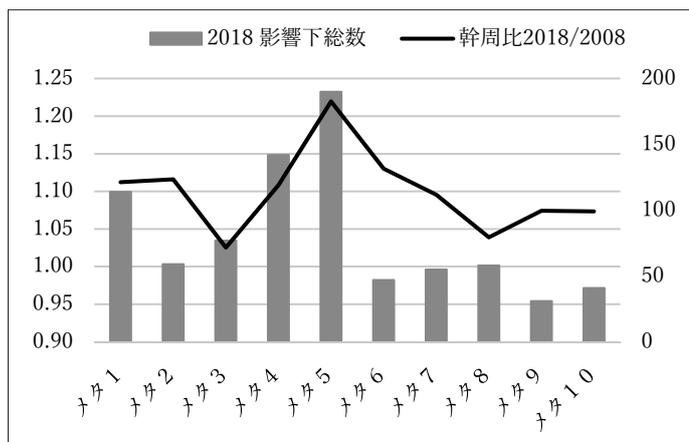


図14 C-1、2 幹周比(2018/2008)(左軸)と影響下総アブラゼミ数(2018)(右軸)

表11 C-1、2 幹周比とアブラゼミ発生数との単回帰分析によるR²およびp

メタのみ	影響下総数	メタ1から(一部)除外		メタ4,5から(一部)除外		メタ1,4,5から(一部)除外	
		影響下総数- (クス1,2)	影響下総数- (ヤブ)	影響下総数- (アジサイ)	影響下総数- (アジサイ+ヤブ)	影響下総数- (クス1,2+アジサイ+ヤブ)	
R ²	0.1655	0.4494	0.4535	0.4123	0.3428	0.1992	0.2456
p	0.2433	0.0339	0.0328	0.0453	0.0754	0.1960	0.1452
有意性	n.s	*	*	*	n.s	n.s	n.s

*: <0.05

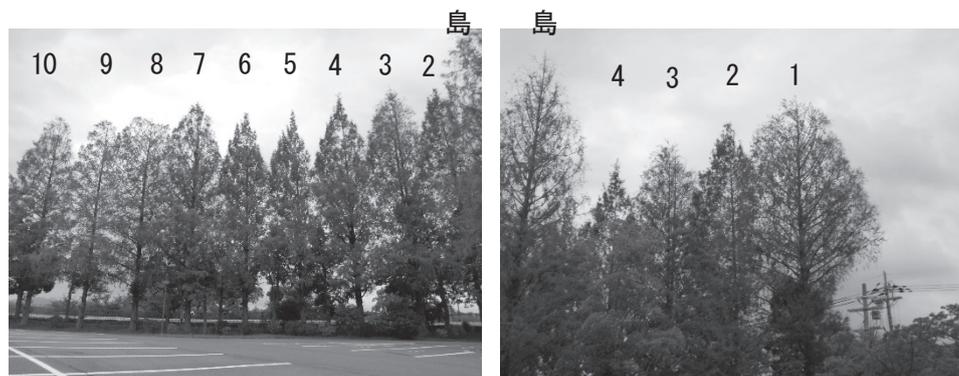


図15 メタセコイアの樹冠

メタ4~6はメタ7~10に追いついてきている。先端に枯れが無いのは2、4~6で、かつて小さかったもの。その他には先枯れがあり、先端が丸くなっている。特にメタ-島、1に著しく、7は比較的良好いほうである。2018.9.9

5.4.5 幹周・土壌硬度・幹周比とアブラゼミ発生数との重回帰分析 2018

2018年には、幹周の上に土壌硬度、幹周比のデータが加わったので、アブラゼミ発生数が幹周、幹周比、土壌硬度と関係があるかどうか重回帰分析を行った。

y (アブラゼミ発生数) = $a + bx_1$ (幹周) + cx_2 (土壌硬度) + dx_3 (幹周比) への回帰である。

得られた回帰式は、メタセコイアのみ、影響下総数ともに、有意ではなかった(表12)。しかし、メタセコイア以外の樹種で特に多くアブラゼミを発生させた場合の数を影響下総数から除外すると、有意な結果が得られた。すなわち、メタ4、5からアジサイとヤブツバキ分を除外したとき、最も高い相関を示し、2番目はアジサイだけを除外した場合であった。

係数の有効性では、メタ4、5からアジサイとヤブツバキを除外したときに、幹周の係数 ($p < 0.01$)、幹周比の係数 ($p < 0.05$) が有効で、土壌硬度の係数 ($p > 0.05$) は有効ではなかった。アジサイだけ

表12 C-1、2 アブラゼミ発生数と幹周・幹周比・土壌硬度との重回帰分析によるR²およびp

メタのみ	影響下総数	メタ1から(一部)除外		メタ4,5から(一部)除外		メタ1,4,5から(一部)除外	
		影響下総数- (クス1,2)	影響下総数- (ヤブ)	影響下総数- (アジサイ)	影響下総数- (アジサイ+ヤブ)	影響下総数- (クス1,2+アジサイ+ヤブ)	
R ²	0.6586	0.6935	0.6278	0.7393	0.8099	0.8828	0.7618
p	0.0750	0.0553	0.0957	0.0347	0.0139	0.0034	0.0268
有意性	n.s	n.s	n.s	*	*	**	*

*: <0.05、**<0.005

を除外したとき幹周比だけが有効 ($p < 0.05$) となった。3変数 ($x_1 \sim x_3$) の多重共線性は認められなかった (VIF 1.6760) ので、幹周、土壤硬度、幹周比を説明変数として用いることには妥当性がある。つまり変数間に強い相関関係が認められなかった。

5.5 メタセコイア域についての考察

メタセコイアにアブラゼミが多いことは良く知られている^{9,10}。この調査地でも非常に多く羽化した。その中で各個体木における発生数は基本的に木の大きさに関係し、その上で土壤の硬さ、さらにその上に木の生長度が強く影響している。重回帰分析において、相関が最も強く有意となったのは、影響下総数のメタ4、5からアジサイとヤブツバキ分を除外した場合である。その場合に土壤硬度の係数が有効にならなかったが、それは土壤硬度に対してアブラゼミの発生数が並行的に減少するのではなく、閾値のある反応を示すこと、およびここで用いた土壤硬度がメタセコイアのもので、周辺植物の値を使っていないことと関係する可能性がある。

このメタセコイアの区域では、北半分のメタ6～10では、土壤が硬いことによって、セミ発生数が一律に抑えられており、土壤が軟らかい南半分メタ1～5では発生数は様々であった。中でも成長が著しいメタセコイアには多くのセミが育って羽化し、やや土壤が硬いメタ3は、木が大きいため以前は多くを産したものの、成長が悪くなり、先枯れもあり、大きく減少した。

メタ3の状態悪化の原因として考えられるのは、西側にある半円形の駐車場の島となっている緑地の変化である。ここにも大きなメタセコイア (メタ-島、2008年：幹周164cm、樹高17m) があり、かつてよくセミ殻が採集できた所である。メタ-島の周囲にはアラカシ3本 (2008年樹高2.5、7.5、7.5m) が良く繁り狭いながらも密集した樹林を形成していた。この内部にコガタスズメバチの巣が作られたこともある。改築に伴って、キャンパスの庭の整備が行われた際、この木々が取り払われたらしく、現在はメタ-島の根元にヒラドツツジ、アベリア、サザンカ等の低木が残されているのみである (図2)。今回ここでもセミの羽化殻の観察を行っていたが、予想外に少なかった。その原因は、常緑樹の伐採によって影がなくなったことによる土壤の乾燥から来るメタ-島の弱りであろうと思われる。メタ-島の先枯れはメタ1～10よりもかなり進んでいる。

この場所の木々が失われることで西南からの強い日射が入るという影響を被ったのがメタ3であり、日射の強化とそれによる土壤硬化が、樹木及びセミの成育に影響を及ぼしたと考えられる。レンギョウが枯れたのも同じ原因かもしれない。一方、メタ4、5の状況は、ヤブツバキ1～3の成長によって、西日を遮る効果があったのではないだろうか。同時に低かった木が伸びていく成長の段階に今もあるのかもしれない。周囲のアジサイが元気に育っており、土壤に水分が多い可能性もある。アジサイはセミ発生にも貢献し、今後よく生育すると土壤を覆い乾燥させない効果も発揮するに違いない。

C-2の北半分が硬いのは、第一に西側が駐車場で西日と照り返しを遮るものがないこと、第2に東側にも樹木が少なく、日射と通風を遮らないこと、さらにメタ8～10では、根元の土壤域が狭いことによっていると考えられる。これらの点については大きな変化がないので2009年の段階からも土は南半分よりも硬かったかもしれない。しかし、メタ7～10の成長は早く、高く伸びていた。土壤硬度のレベルが今よりも全体に低かったのか、近年メタ7～8はこの場所での成長限界に達したのだろうか。

実際先枯れのあるメタセコイアは、早く高木になっており、この場所での成長限界にきているのかもしれない。メタ1も大きいために2009年には多くのセミを産していたが、2018年では、成長がメタ5程ではなく先枯れがかなりある状態で、発生数は減少した。土壤硬度は他と比べて高いわけではなく、成長限界に達し、以前ほどの元気さがないのかもしれない。

アブラゼミ発生数が木の大きさに比例し、木の成長度や健康状態に影響されるということは、その木の限度以上の幼虫は生存できないか、あるいは移動するということを意味している。土壤硬度は、植物の健康状態に影響することによってアブラゼミの発生数に影響することが考えられるが、さらに直接にセミ幼虫と関わることも予想される。セミ幼虫の行動については、アブラゼミ1令幼虫についてのMoriyama・Numata¹¹⁾の研究がある。1令幼虫は枯れ枝から孵化後短時間に土壤にもぐりこむ必要があるが、その時土壤が硬すぎないこと、そのレベルはクマゼミに対してアブラゼミの方が低いことが示されている。この結果は、土壤硬度がアブラゼミの発生数に対して境界値つまり閾値を示すこととよく符合する。その後の土中での幼虫の水平方向への移動についても、未確認であるが考えられることである。

重回帰分析によると、メタセコイアのみよりも、突出した影響を及ぼしている樹木分だけを除いた影響下総数での相関が高かった。その意味するところは、周辺樹種で広く存在する少数の発生は、メタセコイアそのものから落下した殻、あるいは羽化時にそこに到達して羽化したものが中心で、そこに発生した幼虫は基本的にメタセコイアそのものに依存していたものと考えられる。一方、あるものを除外したほうがよく相関した場合については、それら除外した樹種がメタセコイアの限界以上に多くのアブラゼミを育てていたと考えられる。2009年のヒヨクヒバ、C-1のクスノキ、2018年のヤブツバキ、アジサイなどである。

木の大きさや産するアブラゼミの多さから、この場所でのアブラゼミの産卵樹はおそらくメタセコイアで、他の樹種は基本的にメタセコイアからの供給を受けていると推測される。上記の中でヒヨクヒバは背が高く目立つ存在で、産卵から幼虫の発育も含めて関係しているのかもしれない。ヤブツバキはその位置からいくらかは産卵にも関わっているのかもしれないが、木の大きさから判断して主に幼虫発育時代から、アジサイも幼虫発育時代からと予想するが、関わり方については今後の検討課題である。

ヒヨクヒバは2009年に比べ今年発生数が減少していた。土壤硬度(17.5)も高めであり、以前より土壤が硬くなった可能性がある。またクスノキはこの区域では大きさからも本数からも第2位の樹種であるが、発生数はC-1では多く、C-2では最下位であった。またC-1の2本のクスノキの中でアブラゼミを発生させるのはほとんどがクス1であった。この点もまずは土壤硬度で説明することが可能である。メタ1(土壤硬度12.0)に由来するアブラゼミは土壤硬度がメタ1よりも高いクス2(13.0)には定着せず、土壤硬度が同じであるがメタ1より低い位置にあるクス1の方に定着するのであろう。一方C-2のクスノキはメタセコイアよりも高い位置にあって土壤が硬いので、アブラゼミ幼虫は定着しない、さらには移動していかないと考えることができる。しかし2009年、2018年とも分析上C-1のクス1が弱いながらも効果を発揮していたこととあわせ、クスノキがアブラゼミの発生にどのように、どの程度に貢献しているかはまだ明らかではなく、今後の課題としておきたい。なおC-1のハナミズキはアブラゼミを産し、京都御苑で0であった⁹⁾のは、セミが嫌うのではなく何か別な理由であらう。

なお、この区域におけるクマゼミの発生木は偶発的とみられる。

6 結果3—F 体育館周辺におけるセミの発生数と樹種の関係 —アブラゼミと桜の関係を中心に 2018

東西を静ホールと体育館に挟まれたソメイヨシノを中心とした列（F-1）と南北を体育館と奏ホールに挟まれたサトザクラを中心とする列（F-2）である（図16、17）。

結果3の目次

- 6.1 F-1 体育館東—主にソメイヨシノの大きさ（幹幅）、
土壌硬度と発生数との関係
- 6.2 F-2 奏ホール北—主にヒマラヤスギ・桜の大きさ
（幹幅）、土壌硬度と発生数との関係
- 6.3 体育館周辺—桜域についての考察



図16 F-1のソメイヨシノとF-2の
ヒマラヤスギ 南から
建物は右が静ホール、左が奏ホール
2018.8.4

6.1 F-1 体育館東—主にソメイヨシノの大きさ（幹幅）、 土壌硬度と発生数との関係

南北に8本のソメイヨシノが並び、北端で西に折れてさらに1本存在する（図17）。シラカシ、ナンキンハゼ各1本の配置は図17のとおりである。

ソメイヨシノは大きく（図16）、幹が多くの場合低位で分枝していたので、樹高30cmでの幹幅を測定した（以下幹幅）。それによるとソメイ1～7（幹幅40～55cm）に対し、8（73cm）が特に大きく、逆に9（8cm）は細くまだ若かった。セミでは、アブラゼミが多く（表13）、北端にあるナンキンハゼ（幹周75cm）、シラカシ（幹周72.5cm）にも発生した。さらに、ツクツクボウシが、奥のソメイ9、ナンキンハゼFに発生した。ソメイヨシノにはクマゼミも産したが少なかった。

ソメイヨシノは、個体によってアブラゼミの発生数が大きく異なっており、ソメイ4～8で多く、両端で少なかった（図18）。図18、19には参考までにシラカシとナンキンハゼを加えてあるが、両者は全く別な状況であることがわかる。特にシラカシは発生数が少なく、大きなソメイ8のすぐそばというその配置（図17）から、このアブラゼミはソメイ8に由来するものであろうと考えられる。一方ナンキンハゼは少し離れている

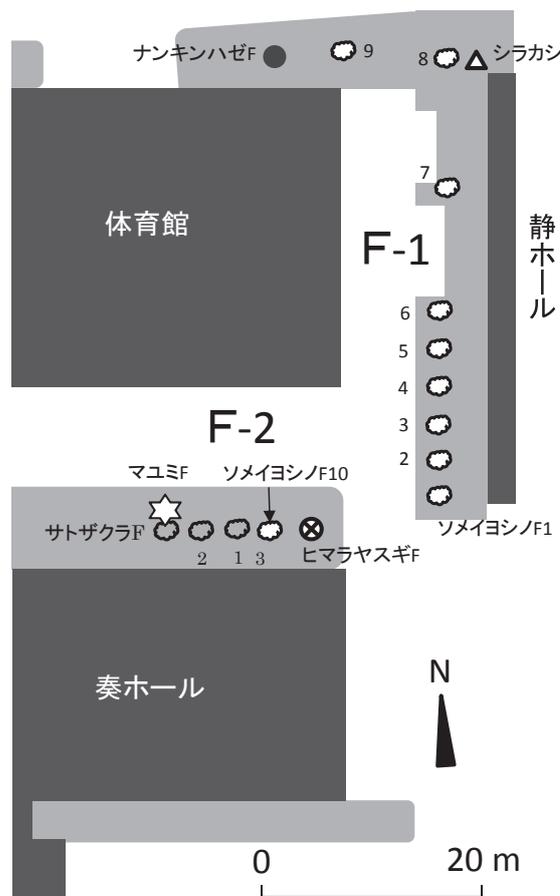


図17 F-1、2の樹木配置

表13 F-1 1本あたりの樹種別羽化殻数（総数） 2018

樹種と本数	ソメイヨシノ F1~9 9本	ナンキンハゼF 1本	シラカシF 1本	合計
クマゼミ	0.3 (3)	0 (0)	0 (0)	(3)
アブラゼミ	32.8 (295)	9.0 (9)	3.0 (3)	(307)
ニイニイゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
ツクツクボウシ	0.1 (1)	1.0 (1)	0 (0)	(2)
合計	33.2 (299)	10.0 (10)	3.0 (3)	(312)

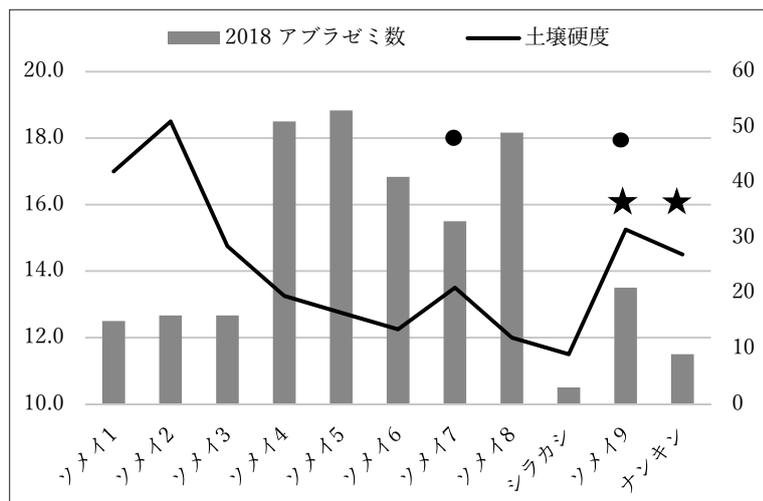


図18 F-1 土壤硬度 (2018)(左軸 mm) とアブラゼミ数 (2018) (右軸) ●:クマゼミ, ★:ツクツクボウシ発生木

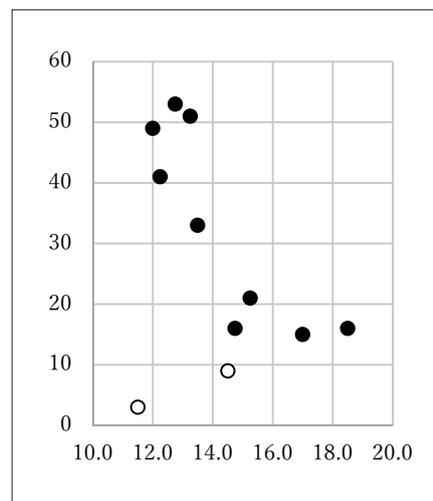


図19 F-1 土壤硬度(2018)(横軸 mm) とアブラゼミ数(2018)(縦軸) 白丸はシラカシとナンキンハゼ

ので、独立性が考えられる。以下解析はシラカシ分(3)をソメイ8に加え、ソメイヨシノだけで行う。

木の大きさ(幹幅)はソメイ8、9以外大きな相違はなく、また大きなソメイ8に特に多くセミが発生したわけでもなかったため、アブラゼミ発生数と幹幅に相関は見られなかった ($R^2=0.3589$, $p>0.1$)。一方発生数と土壤硬度は、逆相関した ($R^2=0.7133$, $p<0.005$)。さらに、幹幅、土壤硬度で、重回帰すると有意 ($R^2=0.7192$, $p<0.05$) であったが、係数は土壤硬度 ($p<0.05$) が有意となった一方、幹幅 ($p>0.5$) は有意ではなかった。なお土壤硬度と幹幅は多重共線性が認められず (VIF: 1.1298)、この二つを説明変数として使うことができる。いずれにしてもこの区域のソメイヨシノに関して、土壤硬度はアブラゼミ発生数に影響を及ぼす大きな要因であることが示された。

土壤硬度に関して、図18、19から判断すると14前後を境にして、多い場所と少ない場所に分かれると考えることができる。発生数の多いソメイ4~7は体育館の蔭となって根元の土壤に西日が当たらないため、土が軟らかいと考えられる。その中で、やや土壤硬度が高く、発生数が少ないソメイ7は、図16でわかるように根元にコンクリート構造物があり、そのことが影響している可能性がある。一方最大のソメイ8は、西からの光も受けるが、土壤範囲も広く、枝もよく張っているためか、土壤は柔らかく、もっとアブラゼミが発生してもよいと思われる。ソメイ8が、アブラゼミ発生数においてソメイ4、5と同等である点は、メタセコイアで大きな影響を与えていた生長度や健康度に関わっているのかもしれない

い。今後の発生数の変化によって、明らかになっていくものと考えられる。

南側のソメイ1～3では、両側の建物の配置状態から根元に西日が当たっており、土壤硬度が高く一律に発生量が少なかった（ほぼ10～20程度）。一方、ソメイ9で発生数が少なかったのは、やはり西日が当たり土壤がやや硬いことに加えて、他よりもまだ小さいことが多い。

ソメイヨシノでクマゼミが少ないものが出ているが、発生している個体木は特に土壤硬度に関係していなかった。さらに注目されるのはツクツクボウシである。北の端で発生していたが、ここはあまり人が入らない草の多い所である。

6. 2 F-2 奏ホール北ーヒマラヤスギ・桜の大きさ（幹幅）、土壤硬度と発生数との関係

樹木列の南側そばに建物があり、南側からの日射は少ないが西からの日射がよく入る所である（図16、20）。セミは大きなヒマラヤスギ（幹周194cm、幹周比2018/2008 1.66、土壤硬度14.5）（図17、20）に比較的多かった（表14）。隣のソメイ10は、2008年幹周が105cmだったのに対し、多くの枝が枯れ、下から出てきたひこばえが1枝生き残っているだけである。他の桜はサトザクラ（サト）で、サト3は根元で



表14 F-2 1本あたりの樹種別羽化殻数（総数） 2018年

樹種と本数	ヒマラヤスギ 1本	ソメイヨシノ 1本	サトザクラ・マユミ 3本、1本	合計
クマゼミ	2.0 (2)	0 (0)	3.5 (14)	(16)
アブラゼミ	11.0 (11)	5.0 (5)	11.0 (44)	(60)
ニイニゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
ツクツクボウシ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
合計	13.0 (13)	5.0 (5)	14.5 (58)	(76)

図20 F-2 ヒマラヤスギと桜、東から

西からの日射がよく入っている。桜は手前からソメイヨシノ：多くは枯れ1枝のみ生きている。その後方はサトザクラとマユミ。2018.8.4

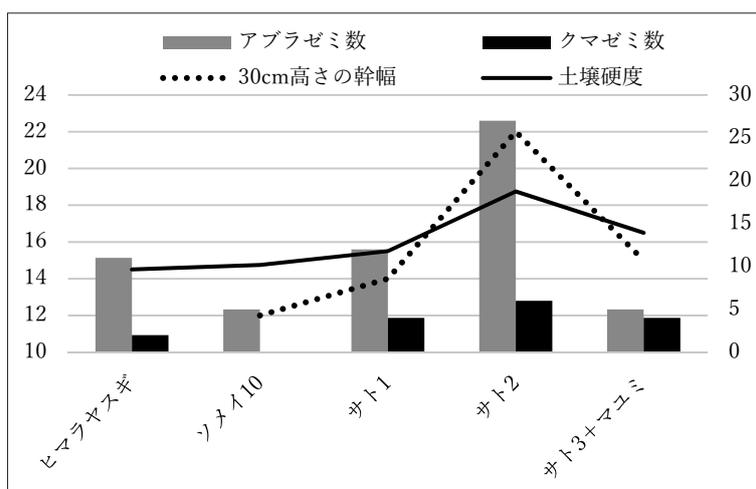


図21 F-1 30cm高の幹幅（左軸cm）および土壤硬度（2018）（左軸mm）とアブラゼミ・クマゼミ数（2018）（右軸）
幹幅は桜のみを示している。なおマユミの幹幅は20cm。

マユミと合体しており、セミ発生数を分けることができなかった。

この区域での発生数は体育館横F-1のソメイヨシノよりも全体に少なかった(表14)。土壤硬度は14.5～18.8でF-1のソメイヨシノの閾値(14.0)以上のグループに入るので、妥当な数字かもしれない。その中で、アブラゼミ発生数が最も多かったのはサト2であって、30cm高の幹幅からうなずける(図21)。葉の繁り方からみた樹勢も幹幅に応じサト2、サト1の順で、セミの発生数もそれに応じている。一方土壤硬度も高く、その樹勢と土壤硬度の関係は不明である。一番弱っているソメイ10では、他の桜よりも土壤が柔らかい傾向であったが、落ち葉が堆積して土壤が柔らかい隣のヒマラヤスギの影響であろう。またサト3+マユミの根元の土表面は不明ながら独特な状態で、土壤硬度が低めな理由はそこにある。このサト3もかなり弱っている。なんらかの方法で成長度、健康度を測定できるとははっきりできるに違いない。

なおソメイ10を除く樹木にクマゼミが出現している。それはサトザクラの性質によるものか、ヒマラヤスギやマユミの性質か、土壤硬度が影響しているのかは要検討である。

6.3 体育館周辺一桜域についての考察

F-1、2では、クマゼミが少し出ているので、桜に全くクマゼミが発生しないわけではない。しかしソメイヨシノに多いのはアブラゼミであった。京都市内東本願寺前の緑地でもソメイヨシノ・イチヨウ群ではクマゼミの割合(8～25%)が横のケヤキ群(91～97%)よりも少ないとのことである⁹⁾。ただクマゼミの割合は本稿での結果(ソメイヨシノのクマゼミ率1%)よりもかなり高く、それは土壤や日照等の物理的環境によるのか、非常にクマゼミ率の高いケヤキ群と接している⁹⁾ことと関係するのかは不明である。

メタセコイア同様にソメイヨシノでもアブラゼミ発生数は土壤硬度と深く関わっており、硬度約14.0が境界になっている。この場所の場合、西日があたることが土壤硬度を上げていると考えられる。また硬度が高い場合、メタセコイアでは約50程度であったが、ソメイヨシノでは10～20程度の発生数になっている。この差は、樹種によるものか場所によるものかはさらに比較データが必要になってくる。本調査区域ではソメイヨシノ個体の大きさよりもおそらく日射からくる土壤硬度の影響が大きかった。ソメイ8に関連して、木の生長度、健康状態を表す指標があるとさらに明確になってくるだろう。一方列の異なるサトザクラを中心とした区域では、木の大きさがよくセミ発生数と関係しており、同時に木の健康状態がセミ発生数と関わるらしいことが伺えたが、土壤硬度を反映せず、健康状態を表す指標が必要となってくる。

クマゼミが非常に多い岩黒島(香川県)¹⁵⁾ではクマゼミ幼虫が多い樹種としてビワ、イチジク、「サクラ」があげられている。島にクマゼミが非常に多い等、条件により「サクラ」はクマゼミをよく産するのであろう。またF-2のサトザクラ、ヒマラヤスギにクマゼミがやや高い比率で発生した点については、サトザクラがソメイヨシノよりもクマゼミを発生しやすいのか、そばにあったマユミあるいはヒマラヤスギの性質によるのかは不明であるが興味深い。桜の中でも種のレベルでクマゼミの産し方が異なるとすると、各報告による「サクラ」について精査が必要になってくる。また単に土壤硬度が最重要に関係するのなら、横のF-1南側のソメイ1～3にもクマゼミが発生してよいように思われるが、実際に発生したのはソメイ7と9であった。メタセコイアでのクマゼミ発生状況と同様に、ここでもクマゼ

ミ発生木はかなり偶発的といえそうである。

ヒマラヤスギは大きく元気そうでもあり、もっと多く産してもよいように思われるが意外に少なかった。土壤硬度がやや高い（ソメイヨシノでの閾値より上）ことが影響している可能性もある。ヒマラヤスギとアブラゼミの関係性については、さらに比較検討が必要である。

なおツクツクボウシは自然なままの場所がよいようである。

7 結果4— E空地周辺におけるセミの発生数と樹種の関係 —クマゼミ・アブラゼミと数種の樹種

空地を取り巻くE域にはE-1と2の2区域が含まれている。E-2では2009年と2018年の2回調査を行い、E-1域は2018年だけである。E-1は広く樹木が多いため、樹木が南北に並ぶ列、東西に並ぶ列（北辺と南辺の2列）、広場の中央近くの3群に分けた。

結果4の目次

- 7. 1 区域の概要— E空地周辺
- 7. 2 樹木列ごとの樹種別発生数— E空地周辺
 - 7.2.1 E-1 南北列 2018
 - 7.2.2 E-1 東西列と中央 2018
 - 7.2.3 E-2 E域西端のナンキンハゼ域 2009、2018
- 7. 3 ナンキンハゼの大きさ（高さ指数）、土壤硬度と発生数との関係およびシラカシについて 2018
- 7. 4 カイツカイブキの大きさ（幹幅）、土壤硬度と発生数との関係 2018
- 7. 5 E空地周辺のクマゼミについての考察
- 7. 6 E空地周辺のアブラゼミについての考察

7. 1 区域の概要— E空地周辺

全体の配置は図24に示した。E-2はナンキンハゼとシラカシが一行に並んでいる単純な場所で、セミの羽化殻数は少なかった（表2、3）。一方E-1は、多種の樹木がたくさん東側空地を囲むように列状に植えられており、特に樹木密度の高い南北列は細長いがやや森のような雰囲気になっている（図22）。アブラゼミが非常に多く発生し、クマゼミもかなりみられた（表4）。東側の空地は舗装されていないが、砂利が敷かれ、駐車場として利用されている。

E-1の中心をなす南北列は、南端（図22）をケヤキ、カイツカイブキ（以下カイツカ）1、サザンカe1、ナンキンハゼ（以下ナンキン）1とし、北端をカイツカ13、ナンキン16、サザンカe19とする列である（図24）。この中には、南のエノキ、北のシラカシ1、コノテガシワ（以下コノテ）1～5を含む。コノテ2～5はやや離れているが、比較のためナンキン16そばのコノテ1に準じた。



図22 E-1の景観、南北列南端から
 ナ：ナンキンハゼ、カ：カイツカイブキ、ケ：ケヤキ。
 サE（サザンカE）とキ（キンモクセイ）は東西列。サ
 ザンカeは見えない。2018.8.5



図23 E-1の景観、西の芝地から
 シュロからシラカシまで起伏が見える。エ：エノキ、
 カ：カイツカイブキ、シ：シラカシ。2018.8.4

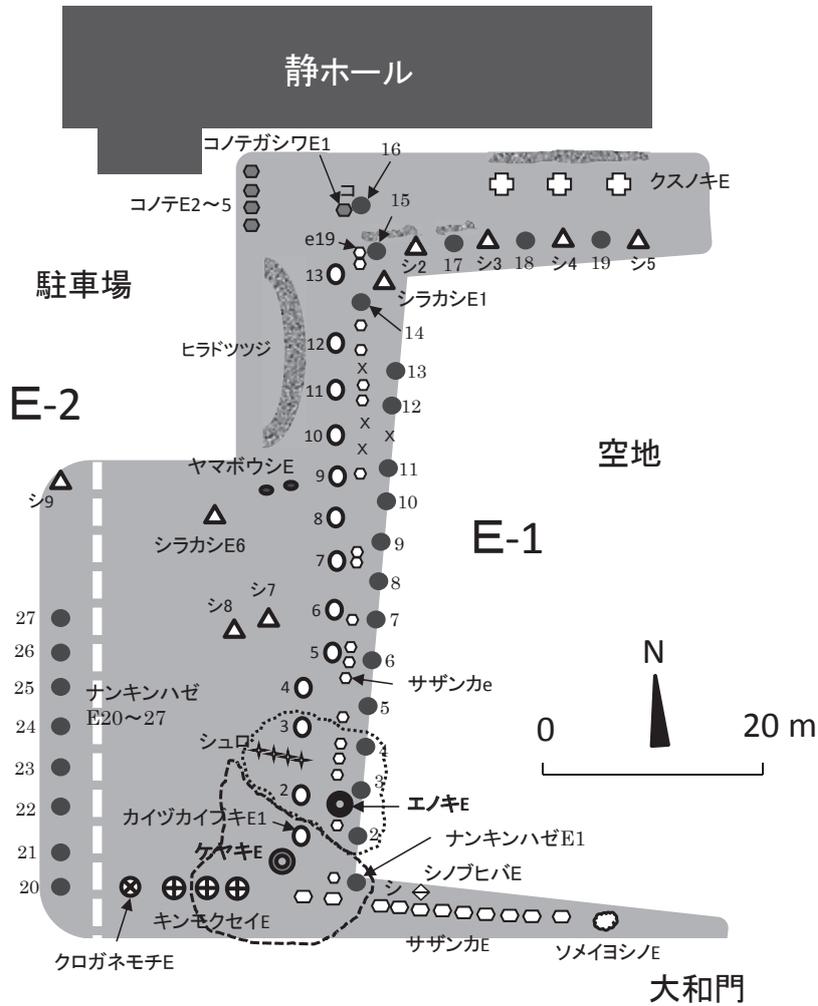


図24 E-1、2の樹木配置

サザンカe列の中に少数の小さな別な樹木も混じっているがこの図では省いた。ケヤキとエノキの樹冠範囲を黒破線で示している。白破線は調査域の境界。x：今はないナンキンハゼ、ナンキン16横のコ：枯れたコノテガシワ、サザンカEのそばのシ：枯れたシノビヒバ。

東西列は空地の南北辺に2列ある。北辺にあるのはシラカシ2（ナンキン15の隣）～5、ナンキン17～19と背後のクスノキであり、南辺にあるのは、大和門からの通路沿いのソメイヨシノからクロガネモチに至る（シノブヒバ1本を含む）樹木列である。

E-1南北列とE-2の間の空間を「中央」とし、シラカシ6～8とヤマボウシを含む。広い芝地であるが、ケヤキの北西横からシュロ西半分を経てこのシラカシ周辺までやや起伏のある堤状になっている（図23、24）。それ以外の多くの樹木が並んでいる場所は低い所である。

7.2 樹木列ごとの樹種別発生数—E空地周辺

7.2.1 E-1 南北列 2018

南北列は、南にケヤキ、エノキの大木があり、北に向かうカイヅカイブキ、サザンカ、ナンキンハゼの3列が中心となっている。樹木1本あたりのセミの総発生数はケヤキ（土壌硬度15.8）、エノキ（8.5）が多く、次いで、カイヅカイブキ（5.3～10.3）、ナンキンハゼ（4.4～14.3）であった（表15）。コノテガシワの1本（ナンキン16横のコノテ1、樹高2.5m、隣に枯れたコノテガシワがある）（6.1）とシラカシ1（ナンキン15横）（4.5）も多かったが、それは各1本だけであった。西にあるコノテガシワの別な4本（樹高3m）（2.3～3.3）は大きく元気で、土壌硬度も低かったが発生数は極めて少なかった。シラカシについては次の東西列において比較する。

クマゼミは特にケヤキ、エノキに多かったが、アブラゼミは多くの樹種に広く発生した。シュロはトウジュロで（7.1～15.1）、エノキ及びカイヅカイブキの枝が到達しており、それらの影響下にあるとみられる。なおツクツクボウシがエノキとカイヅカイブキに出ていたのが注目される。ニイニイゼミは採集されなかった。

サザンカeではe2、3（エノキの横）にクマゼミが発生した。1本当たりのセミの総数は2.5と少なく（表15）、分布をみると南北の両端で多く中央部では0となる木が多かった。このサザンカ（樹高1.5-3m、土壌硬度5.4～11.5）は、日陰のためか枯れが目立ち、セミの羽化に関しては、他の高木から落下してきた殻か、または単に羽化の足場としたもので、本来他の樹種に属するものと考えられる。

その状況から、サザンカe発生分をサザンカを覆っている木に属するものとして以下ではそれぞれに合算する。コノテ1もナンキン16の根元に接して存在しており、この発生分もナンキン16に合算する。

表15 E-1南北列 1本あたりの樹種群別羽化殻数（総数） 2018年

樹種と本数	ケヤキE 1本	エノキE 1本	シュロ 4本	カイヅカイブキ E 13本	ナンキンハゼ E 16本	サザンカ e 19本	コノテガシワ E1 1本	コノテガシワ E2～4 3本	シラカシ E1 1本	合計
クマゼミ	57.0 (57)	20.0 (20)	1.8 (7)	2.2 (28)	1.3 (20)	0.2 (4)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(136)
アブラゼミ	16.0 (16)	31.0 (31)	6.5 (26)	29.7 (386)	20.6 (330)	2.2 (41)	35.0 (35)	0.3 (1)	35.0 (35)	(901)
ニイニイゼミ	0 (0)	0 (0)	0 0	0.0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)
ツクツクボウシ	0 (0)	1.0 (1)	0 0	0.1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(2)
合計	73.0 (73)	52.0 (52)	8.3 (33)	31.9 (415)	21.9 (350)	2.4 (45)	35.0 (35)	0.3 (1)	35.0 (35)	(1,039)

斜体：四捨五入により合計が合っていない。

7.2.2 E-1 東西列と中央 2018

空地北辺にある東西列のナンキンハゼでは上記南北列に比べてかなり少なかった（表16）。シラカシ2～5では特に発生が少なかった。クスノキは背が高く（高さ指数8、切られた過去の枝分かれにより幹周略、

表16 E-1東西列 1本あたりの樹種別羽化殻数（総数） 2018

樹種と本数	空地北端東西列			空地南端東西列				中央		合計
	シラカシ	ナンキンハゼ	クスノキE	サザンカ	シノブヒバ	キンモクセイ	クロガネモチ	シラカシ	E6~8 3本	
	E2~5 4本	E17~19 3本	3本	E 11本	E 1本	E 3本	E 1本			
クマゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.1 (1)	4.0 (4)	4.0 (12)	4.0 (4)	0 (0)	(21)	
アブラゼミ	4.3 (17)	8.7 (26)	0.3 (1)	1.4 (15)	26.0 (26)	2.7 (8)	2.0 (2)	1.3 (4)	(99)	
ニイニゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0.0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(0)	
ツクツクボウシ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1.0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	(1)	
合計	4.3 (17)	8.7 (26)	0.3 (1)	1.5 (16)	31.0 (31)	6.7 (20)	6.0 (6)	1.3 (4)	(121)	

土壌10.5)、ナンキン15、16同様にシラカシの背後に大きく聳えているが、セミは極めて少なかった。

空地南辺に東西に並ぶ列で主な樹種は低位で枝分かれの多いサザンカ、キンモクセイで、幹周あるいは樹高、土壌硬度の測定を行わなかった。ケヤキの樹冠はキンモクセイ2を覆うまでに達しているの、キンモクセイにクマゼミが出ているのはケヤキの影響がまず考えられる。一方クロガネモチは離れているが、クマゼミが羽化した。シノブヒバもアブラゼミをよく発生させ、クマゼミも少数ながら発生させていた。サザンカで主にセミが発生していたのはシノブヒバの周辺であった。東端のソメイヨシノは0であった。この樹木列は南側の舗装道路と北の空地に挟まれて、強い日射を受け、土壌が硬いと予想される。



図25 E-1 シラカシE6、8
西側駐車場から 2018.8.5

中央のシラカシ6~8は他の樹木とはやや離れて独立している大きな木である（図25）（太い枝分かれがあるため幹周略、土壌硬度15.0~18.3）が、セミの羽化殻は非常に少なかった。成虫も稀で鳴いているものはいなかった。シラカシ横の小さく目立たないヤマボウシも0であった。

7.2.3 E-2 E域西端のナンキンハゼ域 2009、2018

ここは両年の調査がある。広い芝地の西側に南北に並ぶナンキンハゼ（2018年幹周42-139cm、幹周比1.05-1.31、土壌硬度15.5~17.3）とシラカシ（78.5cm、1.35、16.0）の列である（図26）。両年ともE-1南北列にも東西列に対しても少なかった（表17）。両列に対して大きく異なるのは舗装道路沿いで土壌硬度が高いことである。羽化数が少ない理由の第一であろう。今年度少し増えた理由は不明である。シラカシには両年と

表17 E-2 1本あたりの樹种群別羽化殻数（総数） 2009、2018

調査年	2009		2018		2009/2018	
	ナンキンハゼ	シラカシE9	ナンキンハゼ	シラカシE9	ナンキンハゼ	シラカシE9
樹種と本数	E20~27 8本	1本	E20~27 8本	1本	E20~27 8本	1本
クマゼミ	0 (0)	0 (0)	0.4 (3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
アブラゼミ	1.5 (12)	0 (0)	5.4 (43)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ニイニゼミ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
ツクツクボウシ	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
合計	1.5 (12)	0 (0)	5.8 (46)	0 (0)	0 (0)	0 (0)



図26 E-2 ナンキンハゼ20~27、
シラカシの列 2018.8.4

も発生しなかった。

7.3 ナンキンハゼの大きさ（高さ指数）、土壌硬度と発生数との関係およびシラカシについて 2018

この項では南北列と東西列（北辺）をあわせて取り扱う。両列とも片側が空地に面し、反対側は他の樹種や建物に沿っている（図24）。アブラゼミはこの樹木列を構成するナンキンハゼ、シラカシの全てに発生したが、クマゼミは、エノキ、ケヤキ周辺にのみ発生した（図29）。ナンキン1はケヤキの範囲内にある。

ナンキンハゼだけを取り出し、その幹周とセミの発生数を比べてみると、大きく外れるナンキン14～16以外、幹周に関わらずほぼ30以下であった（図28）。それはアブラゼミだけでも全てのセミ総数でも同様であった。ナンキンハゼの木の状態をみると、ナンキン1～13までは幹の太さに関係なくほぼ5m程度の高さで切りとられており、そこから伸びた細枝によって7m前後の高さになっている。この状況は2008年でもよく似た樹高で同様であったと考えられる。ナンキン14～16はかつて切られた形跡は



図27 E-1 東側空地から見たナンキンハゼの列 奥の丸い樹冠はエノキとケヤキ2018.8.5

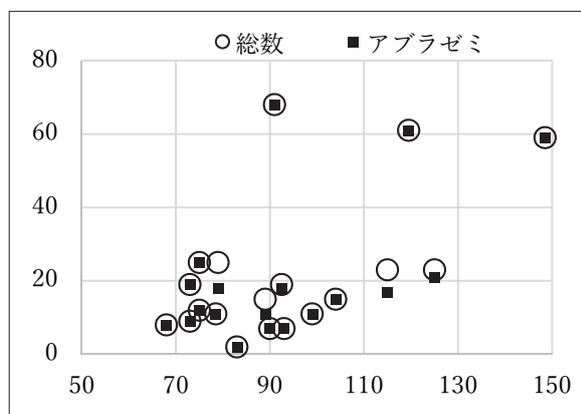


図28 E-1 幹周(2018)(横軸 cm)とアブラゼミ数・総数(2018)(縦軸) ナンキンハゼ1～19

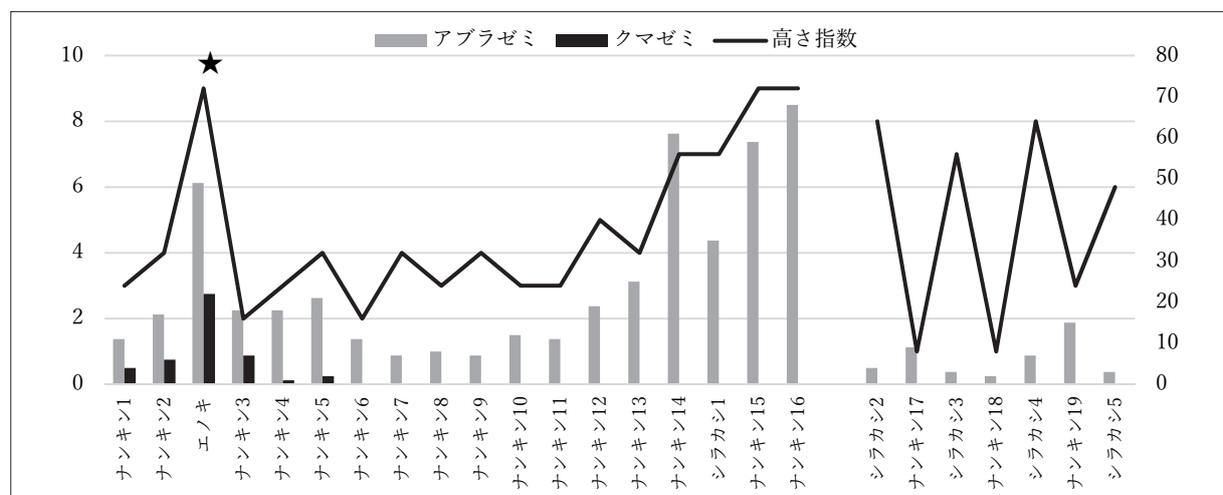


図29 E-1 木の高さ指数(2018)(左軸)とアブラゼミ、クマゼミ数(2018)(右軸) ナンキン1～16の範囲は南北列、シラカシ2～5の範囲は東西列である。★：ツクツクボウシ発生木

あるが、近年切られておらず、太い幹が5 m以上の所にも伸び、高い木となっている。ナンキン14、15は2008年当時でも他よりも高かった。このように幹周ではナンキンハゼの木の高さを十分表現できないので、遠望してその高さを指数で表してみた。高さは段階的であったので、最も低い木を1とし、次の高さの木との差を1として順次高さを表現した。

セミの発生数と樹木の高さ指数を図29に示した。木の高さは、南北列では特に南端近くのエノキ、北端付近のナンキンハゼ14～16周辺で高く、中央部分では低かった。アブラゼミ発生もほぼこの高さ指数に準じた状況であった。シラカシ1～5もかなり高い範疇に入り、東西列（シラカシ2以下）では、ナンキン17、18がシラカシに隠れ下の幹だけが見える状態であった（図30 ナ18）。東端のナンキン19（図30 ナ19）だけは外に現れており、この中では羽化殻が多かった（ナンキン19の羽化数15）。

土壌硬度は、高い木が繁るナンキン14～16周辺で低く、次いでエノキ周辺であった。南北列では土壌硬度が様々であったが、東西列は総じて高い状態だった（図31）。

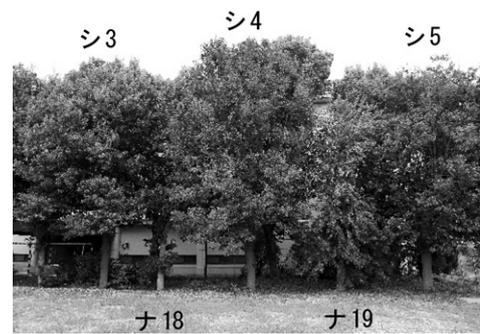


図30 E-1 東西列北辺 南空地から
シ:シラカシ、ナ:ナンキンハゼ。2018.9.14
さらに遠望するとシラカシ背後のクスノキが見える。

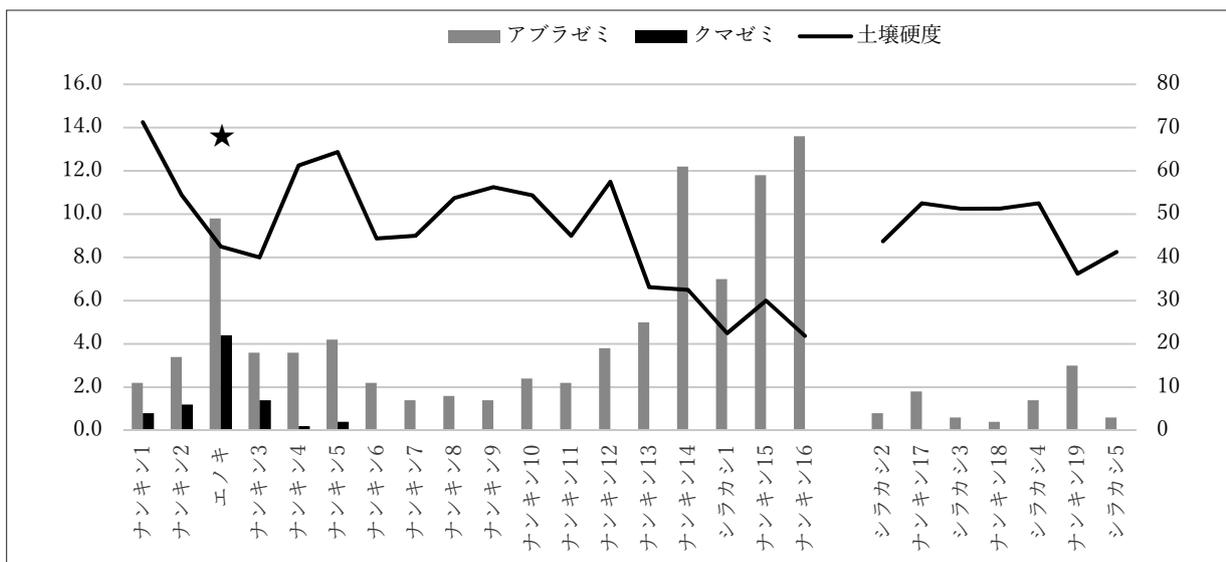


図31 E-1 土壌硬度 (2018) (左軸 mm) とアブラゼミ、クマゼミ数 (2018) (右軸)
ナンキン1～16の範囲：南北列、シラカシ2～5の範囲：東西列 ★：ツクツクボウシ発生木

ナンキンハゼにおける高さ指数、土壌硬度とセミ発生数との関係を回帰分析すると、表18、19のような結果となった。ナンキン16まで（南北列のみ）と東西列も含めたナンキン19までを検定した。

単回帰(表18)ではpだけを示したが、いずれの場合も有意(最もp値が高い場合で $p < 0.05$)であった。高さ指数は特に有意性が高く、土壌のほうがやや落ちるようである。セミ総数は全てのセミを含んでいる。

表18 E-2 高さ指数、土壌硬度とセミ総発生数（総数）またはアブラゼミ発生数との単回帰分析による p 2018（ナンキン1～19）

	ナンキン19まで		ナンキン16まで	
	高さ指数	土壌硬度	高さ指数	土壌硬度
セミ総数	3.97E-07	0.0022	5.75E-06	0.0140
アブラゼミ数	1.58E-05	0.0013	2.62E-05	0.0015

表19 E-2 高さ指数・土壌硬度とセミ総発生数（総数）またはアブラゼミ発生数との重回帰分析による R^2 および p 2018（ナンキン1～19）

	ナンキン19まで		ナンキン16まで	
	総数	アブラゼミ	総数	アブラゼミ
R^2	0.8261	0.8614	0.8196	0.8655
p	8.37E-07	1.36E-07	1.46E-05	2.17E-06

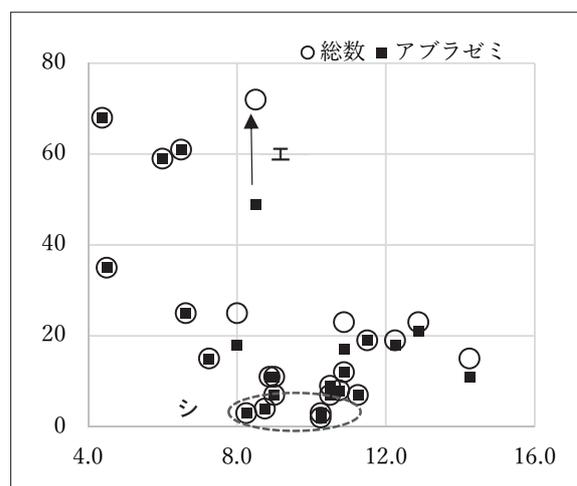
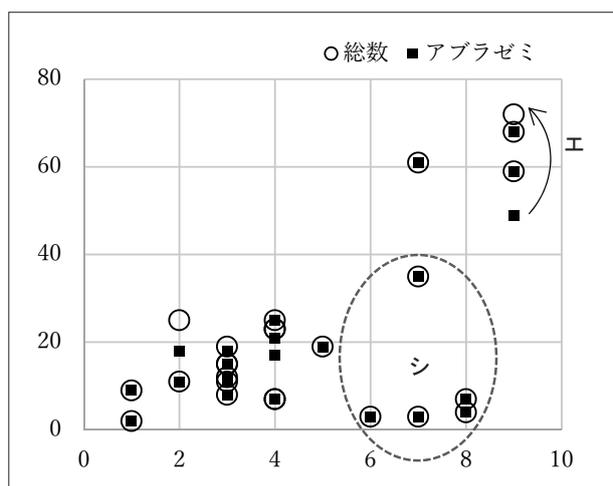


図32 E-1 高さ指数 (2018)(横軸) とアブラゼミ数・総数 (2018)(縦軸)

図33 E-1 土壌硬度 (2018)(横軸 mm) とアブラゼミ数・総数 (2018)(縦軸)

ナンキンハゼ1～19、シ:シラカシ (点線円内5本)、エ:エノキ

重回帰(表19)でもナンキンハゼ全て(ナンキン19まで)でも、南北列だけ(ナンキン16まで)でも、セミの総数でも、アブラゼミだけでも高い相関を示した。高さ指数と土壌硬度は多重共線性を示さなかった(VIF:ナンキン19まで1.4525、ナンキン16まで1.6303)。高さ指数の係数はどの場合も高い有意性を示したが、土壌硬度の係数が有意になったのは、ナンキン19までのアブラゼミについての場合だけであった。

このような高さ指数と土壌硬度のセミ発生数との関係は図32と図33を比べると見て取ることができる。図では参考までにエノキやシラカシも示したが、ナンキンハゼだけをみると明瞭である。高さ指数の場合、セミ総数、アブラゼミ発生数ともに正の直線的な関係であるが、土壌硬度の場合曲線的な減少

を示している。このことが重回帰において、土壤硬度の係数の有意性が落ちている原因であろう。この土壤硬度とアブラゼミ発生数との関係を、さらに大まかにいえば、土壤硬度が9～10以上の場合アブラゼミ発生数はほぼ5～20に押さえられ、それ以下の場合負の線形に回帰すると考えると理解しやすい(図33)。それは、セミの総数でも、アブラゼミだけでもほとんど変わりはない。

なお、シラカシは、かなり高いナンキン14とほぼ同等の高さにまで生長しているが、南北列内シラカシ1と東西列同2～5ではアブラゼミ発生数に大差があった。土壤硬度に差があり、発生数の多いシラカシ1では柔らかく、少ない東西列では硬い土壤であった(図31)ので、一応説明がつく。同時にシラカシ1は、隣のアブラゼミ発生数の多いナンキン14、15のどちらよりも土壤硬度が低い点が注目される(図31)。

7. 4 カイツカイブキの大きさ(幹幅)、土壤硬度と発生数との関係 2018

この区域のカイツカイブキは良く育って大木である(図34)。東側にナンキンハゼとサザンカの列があり、西側はケヤキ、シラカシに遮光される以外、開けている。カイツカ10～13はヒラドツツジの列が西側にある(図24)。カイツカイブキでの羽化殻採集にあたって、最初の7月28日には毎木ではなくまとめて記録したので、以下の図35～38では7月30日以後の分だけで示している。木の大きさは、カイツカイブキでは低い位置での枝分かれが多い(図34)ため、樹高30cmの幹幅(以下幹幅)で調べた。

クマゼミはケヤキ、エノキの影響下にある樹木で発生した。ナンキンハゼ同様にそれらとの距離が遠くなるほど減少した(図35、24)。一方アブラゼミは広くカイツカイブキに発生したが、ケヤキ、エノキの周辺と北端のカイツカ13に特に多かった。ケヤキ、エノキ周辺では、ケヤキ自体を除きアブラゼミもそれらとの距離に応じて減少していた。ケヤキ、エノキの影響が少ない場所では、カイツカイブキ独自の反応を示していると考えられる。

土壤硬度は、ケヤキ以外カイツカイブキでは全体にほぼ5～10という低い状態にあり差は少なかった(図36、38)。ケヤキの樹下は開けており、人も入りやすく土壤が硬くなっているが、カイツカイブキでは落ち葉が多く、全体に土壤が軟らかであった。

幹幅とセミの発生数との散布図(図37)からカイツカ1、2は他のカイツカイブキとは異なる状況にあると考え、以下の回帰分析ではカイツカ1、2を除いて行った。表20では p 値のみを示した。発生数はセミ総数、アブラゼミのみともに幹幅と正の相関があったが、土壤硬度とはともに有意ではなかった



図34 E-1 カイツカイブキの列 左:西側駐車場から 2018.8.5 右:林の内部 2018.9.14

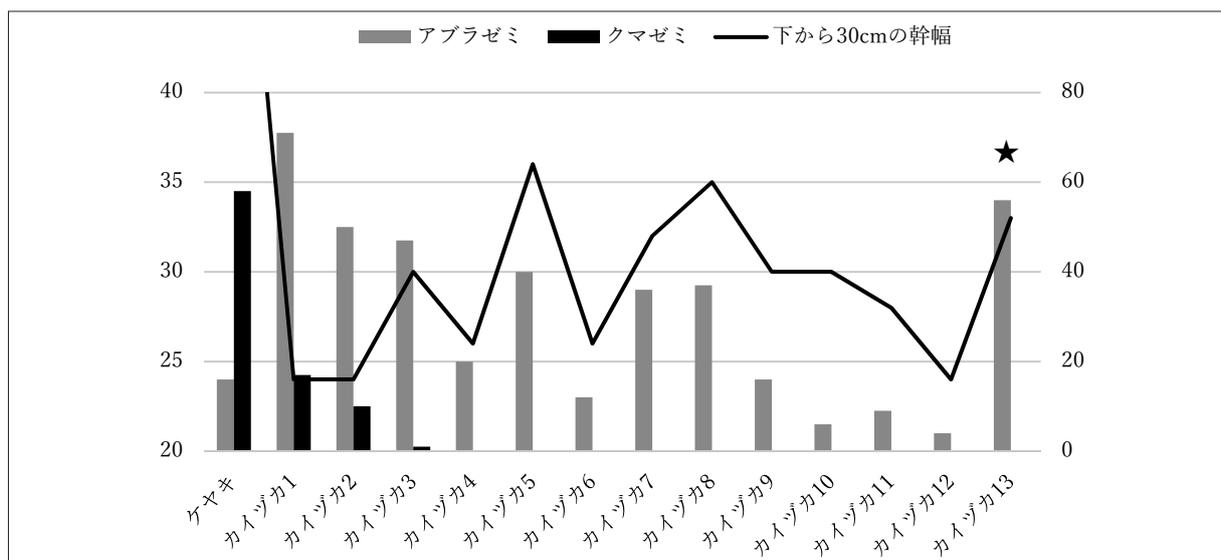


図35 E-1 樹高30cmの幹幅 (2018) (左軸 cm) とアブラゼミ、クマゼミ数 (2018) (右軸)
 ★：ツクツクボウシ発生木。ケヤキの幹幅は枠外

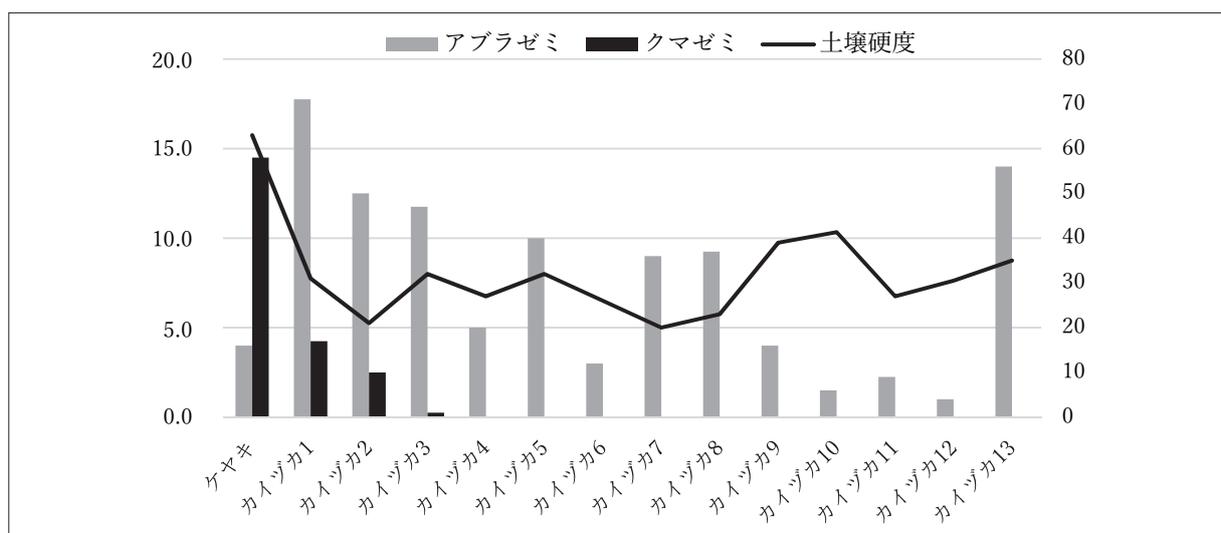


図36 E-1 土壌硬度 (2018) (左軸 mm) とアブラゼミ、クマゼミ数 (2018) (右軸)

表20 E-2 幹幅、土壌硬度とセミ総発生数 (総数) またはアブラゼミ発生数との単回帰分析による p 値 2018 カイツカ3～13

	幹幅		土壌硬度	
	p	有意性	p	有意性
セミ総数	0.0143	*	0.7084	n.s
アブラゼミ数	0.0130	*	0.6919	n.s

n.s>0.05、*<0.05

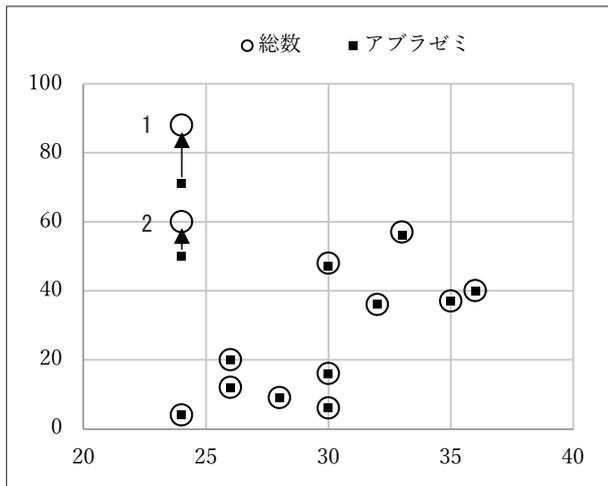


図37 E-1 樹高30cmの幹幅(2018)(横軸 cm)とアブラゼミ数・総数(2018)(縦軸)カイツカイブキのみ。

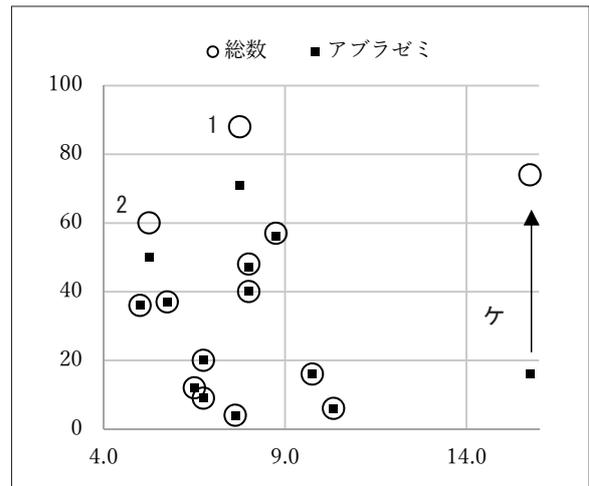


図38 E-1 土壌硬度(2018)(横軸 mm)とアブラゼミ数・総数(2018)(縦軸)カイツカイブキ+ケヤキ(ケ)。

(表20)。

同様にカイツカ1、2を除いた重回帰では、セミ総数とは有意とならず ($R^2=0.5231$ 、 $p>0.05$)、アブラゼミ発生数に対して有意であった ($R^2=0.5351$ 、 $p<0.05$)。その場合係数は幹幅が有効 ($p<0.05$) に対し、土壌硬度は有効でなかった ($p>0.05$) (VIF 1.1985)。

こうした状況は図37、38で理解することができる。幹幅ではカイツカ1、2を除いて正の直線的関係を示しており(図37)、土壌硬度では硬度での差が少ないI型を示している(図38)。そのためセミの発生数は基本的に木の大きさに左右されているように見える。なお、カイツカイブキの中で最高の土壌硬度(9~10)を示すカイツカ9、10の硬度は、ナンキンハゼにおける閾値に相当している。

さらに図35、36をよく観察すると、大勢からはずれているように見えるカイツカ1、2から大勢に準じているように見える3、4まではクマゼミだけではなく、アブラゼミも発生数がケヤキ、エノキからの距離に逆比例していることに気づく。さらに他のカイツカイブキについても、図24を参照しながら見ていくとそのアブラゼミ発生状況は、当該木の大きさに加えて、アブラゼミを産する木からの距離、その木の産出数と相互の土壌硬度の相違(どちらが高いか)といった点との関係が考えられる。こうした点を数値化すると、よく相関させることができるのではないかとと思われるので、今後の課題としておきたい。ケヤキ自体のアブラゼミ発生数の少なさは、土壌硬度が高いことと関連するだろう。

なおアブラゼミを多数産したカイツカ13ではツクツクボウシも出ていた。高い木に囲まれ、土も柔らかく良い環境があるものと考えられる。

7. 5 空地周辺のクマゼミについての考察

クマゼミはエノキとケヤキを中心に発生した。その範囲は、ナンキンハゼ1から5(図29)、カイヅカイブキ1~3(図35)、シュロ1~4、シノブヒバ、キンモクセイ1~3、クロガネモチであった。サザンカでは、エノキ、ケヤキ、シノブヒバに近い所で発生していた。その範囲はほぼ図24に示したエノキ、ケヤキの樹冠範囲に含まれている。シノブヒバとクロガネモチはやや離れており、独自にクマゼミを産している可能性がある。特にクロガネモチはクマゼミが嫌うとされている⁹⁾が、さらに観察例が必要である。

ナンキンハゼに関しては、エノキの枝が達しているのはナンキン4までで5には達していない。このナンキン5でのクマゼミ発生は、エノキの影響が樹冠範囲からいくらか外まで及んでいることを示している。それぞれとりあえず樹冠内の合計をみると、エノキ：クマゼミ56、アブラゼミ213、ケヤキ：クマゼミ76、アブラゼミ104となった。各木独自の発生数はエノキ：クマゼミ20、アブラゼミ31、ケヤキ：クマゼミ57、アブラゼミ16と、樹冠内でも独自でもクマゼミ割合はケヤキで高かった。またエノキ、ケヤキとも独自の方が樹冠内の総数よりもクマゼミ比率が高かった。つまりクマゼミはエノキやケヤキに、より留まる傾向をもっているようである。

ケヤキでは土壌が硬く15.8で、同レベルの硬さのソメイヨシノと同等の20程度のアブラゼミが発生していた。それに対してクマゼミは60近く発生しており、土壌硬度との関係がアブラゼミとは異なっていることが予想される。

7. 6 空地周辺のアブラゼミについての考察

E-1、2のセミ発生の分布状態を図39に示した。セミの羽化殻が多いのは中央南北に複数列樹木が植えられて帯状になった所で、本キャンパス内ではやや森のような状態にあり、日陰、落ち葉の堆積等により、土が軟らかである。特に多いのはその南北列の南端のケヤキ、エノキの大木がある周辺と、北のナンキンハゼが高く茂っている周辺である。そこではケヤキ以外土壌が柔らかく、セミの幼虫にとって暮らしやすい環境と考えられる。

アブラゼミは幅広い樹種に発生し、ケヤキ、エノキをはじめとし、ナンキンハゼ、カイヅカイブキにもよく発生した。

ナンキンハゼでのアブラゼミ発生数は木の大きさを基本に、土壌の硬さに影響される。木の高さ指数と土壌硬度はアブラゼミ発生数とよく相関した。中でも高さ指数は非常によく相関していた。この高さ指数は上を切られた後の生長を示しており、その個体木の元気さをも示していることになる。そのため、単なる高さだけではなく、健康度も合わせた指数になり、そのためにアブラゼミの発生と大きく関わったものと考えられる。その上に土壌硬度もよく効いていた。ナンキンハゼの配置をみると、E-1ナンキンハゼ南北列は東側の空地に面しているために、土壌硬度がカイヅカイブキよりも高い場所が多く、効果が明瞭であった。その中で土壌硬度9~10あたりを境目に、それ以上では発生数は少なく、その

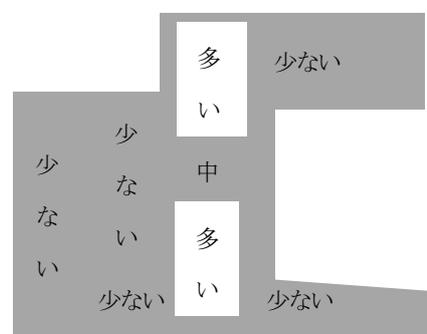


図39 E-1、2のまとめ

値以下では発生数は土壤硬度に負の相関関係をもっていた。ケヤキ、エノキ周辺は、それらの木からの幼虫の供給に加えて、広い樹冠による日陰が土壤硬度に影響する可能性がある。特にケヤキとエノキを南側にもつ樹木では効果的と考えられる。ナンキン1で土壤が硬いのは南側が舗装道路に面しているためであろう。E-2列も舗装道路に面し、土壤硬度が全体に高くアブラゼミ発生数が少ない。

土壤が軟らかく、強い剪定を受けずによく育っているナンキンハゼは大変多くアブラゼミを発生させたが、E-1東西列に見られるように木が隠れていると発生数が少なかった。樹勢も弱く小さいため、少ないのは当然であるが、これらの現象は全体としてメスの産卵と関係していることを示唆している。つまりアブラゼミは、ナンキンハゼと産卵から羽化に至るまで関係しているといっただけではないだろうか。

カイヅカイブキもアブラゼミを多く発生させていた。発生数はケヤキ、エノキ周辺以外では、木の大きさ（幹幅）に大きく依存し、土壤硬度にはそれほど影響されていないという結果となった。土壤に関しては、E-1のカイヅカイブキ列は東西南北を直射日光にさらされにくい状態で、全体に土が軟らかで差が少なく、影響が出にくかったと思われる。その中でケヤキ、エノキのそばと北部の大きなナンキンハゼ周辺では、土壤が軟らかく、セミの成育にはよい状態であると思われる。実際、大きなナンキンハゼ周辺ではカイヅカイブキそのものがよく育って大いにセミが発生している。一方ケヤキ、エノキのすぐそばでは、カイヅカイブキが比較的小さいにも関わらず大きさから予想される以上に多数のアブラゼミに加えてクマゼミも発生していた。ケヤキ、エノキおよびナンキンハゼからの供給を受けているのは確かである。しかしカイヅカイブキからの1本あたりの発生数はナンキンハゼよりも多かった（表15）。これは単に羽化の足場として機能しているだけではなく、幼虫をよく育てている可能性がある。産卵するかどうかについてはまだまだ検討される必要がある。

一方E-1東西列でナンキンハゼを隠しているシラカシは大きく目立っているが、羽化数はかなり少なかった。ここで羽化しているアブラゼミの多くはナンキンハゼ由来で、羽化の足場になっている可能性がある。またE-1中央の大きなシラカシも大変目立っているが、セミの羽化量は極めて少なかった。静かで成虫もめったにいない。これは産卵に来ないのではないかと推測される。シラカシで多かったのは、多くのアブラゼミを羽化させる大きなナンキンハゼのすぐそばにある1本だけであった。これはナンキンハゼからの落下殻の可能性のほかに、木に登っている個体もあるので、羽化の足場になっているのは確かである。しかしすぐそばの他種の木に由来する幼虫がシラカシの根で多く育つことがあるかどうかについては更に検討が必要となる。独立したE-1中央のシラカシでも、わずかに羽化していたので、全く育たないわけではないと考えられる。多く羽化していたシラカシ1の場合、土壤硬度が両側のナンキン14、15よりも低いという点は気になる点である。クスノキについても、E-1のクスノキとC-1、2のメタセコイア域のクスノキの状況から、シラカシと似ているように見える。今後の検討が必要である。

8. まとめと考察

アブラゼミとニイニゼミが比較的広い樹種に出、クマゼミとツクツクボウシがそれよりも狭い樹種に多いという米澤⁹⁾による京都御苑、京都府立植物園での報告は今回の結果とよく一致するよう見える。ただツクツクボウシの場合発生場所が限られるのは樹種によるよりも環境の条件であろうと思われる。今回ツクツクボウシが出現した樹種はソメイヨシノ、ナンキンハゼ、エノキ、カイヅカイブキであったが、樹種というよりもむしろその場所に特徴があり、大阪市内鞆公園での、地表面にあまり日が当たらない、下草があり、踏まれず、落ち葉がつもっている場所に出現したという観察¹⁰⁾やアブラゼミやミンミンゼミに比べてあまり人の入らない踏圧強度の低い樹林を選好するという徳江らの結論⁸⁾とよく一致する。D-3からいなくなったことは、そのような環境が失われたことを表していると考えられる。

クマゼミの分布に関しては、樹種が関わり、ケヤキ、エノキに多く、周辺に及んでいることが明瞭になった。ケヤキ、エノキはアブラゼミも多く産するが、やや土壤硬度が高かった今回のケヤキの場合、アブラゼミに比べクマゼミの方が多く、クマゼミとアブラゼミとで土壤硬度への反応が異なることも示唆された。またメタセコイアやソメイヨシノでの発生状況は、偶発的で、たまたま産卵した結果と考えられる。

メタセコイアはアブラゼミに深く関係しクマゼミはめったに発生しない。他の樹種については、クマゼミ、アブラゼミ発生状況は様々である。アブラゼミを独自に産するという意味ではソメイヨシノとナンキンハゼはメタセコイア程多くはないがほぼメタセコイア的な状況である一方、他の桜の種ではクマゼミを産する可能性が浮かんできた。その他の樹種については、アブラゼミとの関わりレベルは様々である。

土壤硬度と発生数との関係については、従来毎木での調査が行われず、例えば100㎡の調査域の四隅と中央の5点^{6, 8, 11)}、あるいは羽化殻採集場所付近で測定した上で、硬度のレベルを5段階に分ける⁵⁾という方法であり、おおまかに土壤硬度との関係を知るに留まっていた。今回の毎木での調査から、土壤硬度は同一樹種の個体別に測定したとき、その個体の状況を良く示し、セミの発生数とも深く関わっていることが明らかになった。土壤硬度には閾値があり、メタセコイアとソメイヨシノの場合、それぞれ約14、15で、ナンキンハゼの場合約9～10であった。カイヅカイブキは全体に硬度が低かったので不明瞭である。こうした相違は樹種によるものか、その場所の特性によるものかは、今の所不明である。また閾値を越えたとき、発生する数もメタセコイアでは約50、ソメイヨシノとナンキンハゼでは、それぞれ10～25、5～20となっていた。これについても、さらに様々な場所における同一樹種内での調査があると、有益な知見が得られると思われる。

土壤硬度とセミ幼虫の生存に関して、特に1令幼虫が土の中にもぐりこむにあたって、土壤硬度に大きく左右されることが実験的に調べられている¹¹⁾。4段階に固められた土に対してもぐる能力が、クマゼミと他のアブラゼミ、ニイニゼミ、ツクツクボウシで明瞭に違っている。1令幼虫が孵化後短時間に土にもぐりこめるかどうかが生存の大きな別れ目になるので、その後の発生数に反映されていくだろうと考えられている。今回の結果は、野外でそれを支持する結果を得たことになる。

また、先枯れがあったり成長が悪かったりする木ではアブラゼミの発生数は少なかった。このこと自体も土壤硬化と深く関係している。土壤乾燥が進行すると土壤硬度も増す¹⁶⁾。硬い土壌では、根の水分

吸収が大きく左右され、根の生長と機能が制限される¹⁶⁾。こうした中で幼虫の生存が減じる可能性がある。また土壌の乾燥に対して根はシグナルを発するが、まず導管液のpHが劇的に変化することが知られている¹⁶⁾。セミの幼虫は根の導管液を吸って長い時間をかけて成長している¹⁷⁾ので、この導管液の変化に対して反応する可能性は大いにあると思われる。地下の錯綜した根系の中で、早い目によい状態の根に移ることはありうることである。また、メタセコイア域で、アブラゼミの発生に関して、クスノキ・メタセコイア間で土壌硬度の大小関係や位置に関わっている可能性も浮かんできた。一方産卵は通常枯れ枝に行われる。アブラゼミの場合、樹皮にもそのほかさまざまな場所に産卵することも知られており¹⁸⁾、木を選んでいない可能性もある。ただそれは珍しい場合で、多くはより健康状態のよい木の枯れ枝に産卵するとしてもおかしくはないと思われる。木の健康状態にセミが反応するのは、元気のない木には産卵しないのか、あるいははどの木にも産卵しているが、状況のよくない木では育たないのか、より土壌の軟らかい、元気のよい根のある方に幼虫が移動していくのかについても、今後の課題である。

樹種あるいは個別の木とセミの関係は、そばの他の樹種や置かれた微細環境や木の生理状態も影響するため、単に羽化殻があったかどうかだけでは判断できない部分がある。ある樹種がある場所で羽化数が少なかったとしても、他で多いこともあり、少ない理由は様々である。樹種との関係については、相当地に細かな状況を多くの場所で比較検討の上、慎重に判断する必要がある。

本キャンパス内にはクマゼミを多く産する区域がほかにもあり、次稿において、そうした場所でのクマゼミ・アブラゼミ発生状況、キャンパス改変の影響、および全域で、各樹種における土壌硬度との関係を検討してみたい。

9. 謝辞

貴重な樹木調査のデータを使わせて頂いた元法人本部事務局総務企画部参事 座光寺文和氏をはじめとし、データ処理等で支援を頂いた本学情報センターシステム管理室、キャンパス調査を許可し、植栽について様々な情報を頂いた奈良文化高等学校校長 山田勝美氏および学校法人奈良学園理事長特別補佐 青木徳康氏に心から感謝の意を表する。

引用文献

- 1) 日本自然保護協会 (2002) 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3). 362pp. 平凡社.
- 2) 沼田英治・初宿成彦 (2007) 都会にすむセミたち 温暖化の影響? 162pp. 海游舎.
- 3) 初宿成彦 (2012) 大阪市における36年間のクマゼミ発生量変動の推定. 昆虫 (ニューシリーズ) 15 (4) : 205-211.
- 4) 沼田英治 (2016) クマゼミから温暖化を考える. 175pp. 岩波ジュニア新書.
- 5) 増山貴一・藤崎健一郎・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. J. JILA 61 (5) : 535-540.
- 6) 徳江義宏・大澤啓志 (2015) 都市近郊の樹林地におけるセミ類の生息実態およびヒグラシの生息環境について. ランドスケープ研究 78 (5) : 651-654.
- 7) 中島敦司・中尾史郎・養父志乃夫・山田宏之 (2000) 人工島の環境保全緑地のもつ昆虫生息場所機能. J. JILA 63 (5) :

509-514.

- 8) 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.
- 9) 米澤信道・中西文恵 (2007) 京都市街地に於けるセミの減少傾向と樹種嗜好性. 成安紀要14 : 1-33.
- 10) 大阪市立自然史博物館友の会有志・靱公園自然探求グループ有志 (1994) 靱公園のセミのぬけがら調査. Nature Study 40 (1) : 7-9.
- 11) M.Moriyama and H.Numata (2015) Urban soil compaction reduces cicada diversity. Zoological let. 1: 19.
- 12) 磯辺ゆう (2006) 奈良文化女子短期大学構内の植栽プランと主要な樹種について. 奈良文化女子短期大学紀要37 : 15-26.
- 13) 奈良学園 (2008) 「奈良学園高田キャンパス現況調査図と樹木調査一覧表 (平成20.04.10) (榎福本設計)」.
- 14) 気象庁 過去の気象データ検索
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/select/prefecture00>. 2018年10月10日時点.
- 15) 島本寿次 (1972) クマゼミの島 (動物の記録6). 200pp. 学習研究社.
- 16) H. de Kroon・E.J.W.Visser 編 森田茂紀・田島亮介監訳 (2008) 根の生態学. 364pp. シュプリンガー・ジャパン.
- 17) 林正美・税所康正編著 (2015) 改訂版 日本産セミ科図鑑. 221pp. 誠文堂新光社.
- 18) 橋本治二 (1991) セミの生活史. 284pp. 誠文堂新光社.

