

セミ幼虫の行動生態学：

人為的環境変化による影響調査と光走性実験

静岡県立静岡高等学校

3年 竹内 希海

1 動機・目的

小学1年生の時（2008年）から毎日捕ったセミの種類や性別、数をノートに記録し始め、小学3年生から研究論文の形でまとめ始めて2019年で10年目となった。この研究の意義は、生きた幼虫を対象とすることにある。

抜け殻調査では、出現するセミの種や数はわかるが、セミの羽化場所・時刻の嗜好性や光走性などの詳細とそのしくみの解明に迫ることが難しい。また、行動の個体差・個性を調べるには、生きた幼虫・成虫を調べることが不可欠となる。これまでの研究の中でセミ幼虫の行動は個体差が大きい上に、幼虫の出現から羽化までの行動に影響を及ぼす要因は気温・降水量・光・他動物など数多くあり、複雑であることがわかってきた。そのため、その行動のしくみを解明するにはより多くの観察・実験に基づく定量的データが必要と考えている。

これらの理由から、生きた幼虫の継続的な調査・データ収集を2019年も実施しつつ、以下の2つのテーマを中心に研究を進めた。

（1）人為的環境変化による影響

幼虫採集場所の1つである森下公園での改修工事（2011年冬～2014年春）が終了してから5年が経過した。毎年幼虫の出現状況を継続して調査・研究することで、人為的な環境変化がセミの出現数や出現時期、出現時刻などに与える影響を森下公園とその他の場所との比較を通して調べる。

（2）羽化行動時の光走性

2018年の研究でアブラゼミ幼虫を用いた羽化場所探索時の光走性実験を行い、正の光走性があるという結果を得られた。2019年は、クマゼミ・アブラゼミ両種を用いて光走性の有無や種差について実験を行おうと考えた。なお、採集後自宅で羽化したセミは全て元の採集場所へ戻し、環境への人為的な影響を避けるように努めている。

2 方法・プロセス

2019年も、クマゼミのオスを捕り損ねないように、7/1から調査を行い、8/29に終了した。採集場所は、静岡市内の森下公園、静岡大学、清水山公園とした。森下公園は明るく乾燥したエリアの多い都市型の公園、清水山公園は全体的に樹木が生い茂る湿ってひんやりとした山林、静岡大学はこれら2か所の特徴を併せ持った混合型である。例年同様、各場所のピークを逃さずより多くの幼虫を捕るために、1日に2か所以上回るなどの工夫をした。

幼虫を見つけたら、傷つけないようにしながら紙コップに入れ、個体の情報を紙コップに記入しボックスに入れて運ぶ。幼虫同士で傷つけないように、紙コップに入れる幼虫は必ず1匹ずつ、各個体の背中にペンで直接識別番号を記入した。

自宅に持ち帰り、体重を測定し個体写真を撮った後、観察・実験する。翌朝には羽化が完了し成虫になっているので、採集場所に返す。

室内実験については、毎年様々な羽化台を制作している。最近数年の羽化実験は浴室の浴槽内で行っており、幼虫の脱走を防ぐとともに人の気配が伝わるなどの影響を最小限にすることができる。

(1) 人為的環境変化による影響
 採集した幼虫のデータから、幼虫の出現時期、出現時刻、出現数を3か所の採集場所で比較し、森下公園の公園改修工事（2011-2014年）による環境変化の影響について調べる。また、気象条件が各採集場所でのどのように影響を及ぼすのか比較する。

(2) 羽化行動時の光走性
 2019年は図1に示す羽化台を用いて実験を行った。左右2つの台のうち、左側の台の内部にライトを設置し、この台に登って羽化した幼虫を明るい場所を選択して羽化したとみなす。明るい場所の照度は15~120ルクス、暗い場所の照度は約0.01ルクスだった。

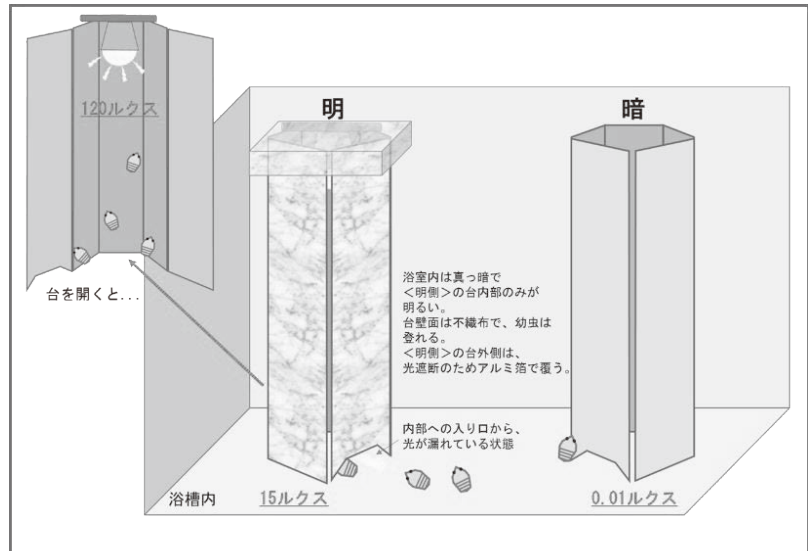


図1. セミ幼虫の光走性実験羽化台

3 結果・考察

2010年~2019年の幼虫・成虫の採集数一覧を表1に示す。

表1. 10年間で捕ったセミの種類・性別・数

	幼虫										成虫										計			
	クマゼミ		アブラゼミ		ツクツクボウシ		ニイニイゼミ		ミンミンゼミ		クマゼミ		アブラゼミ		ツクツクボウシ		ニイニイゼミ		ミンミンゼミ			ヒグラシ		
	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス	オス	メス		オス	メス	
2010年	55	78	69	86	2	0	0	1	0	0	291	81	77	57	44	22	7	14	3	8	2	0	0	315
2011年	114	131	111	65	1	3	1	2	0	1	429	69	86	54	23	25	17	7	1	3	5	1	1	292
2012年	113	117	78	91	0	0	0	1	0	0	400	118	113	116	91	40	42	12	9	14	15	1	0	571
2013年	156	191	116	118	5	1	3	2	0	0	592	134	142	209	107	21	27	13	10	17	10	1	0	691
2014年	155	119	144	117	5	3	2	6	0	0	551	59	25	67	20	15	2	45	18	24	14	0	0	289
2015年	131	172	118	106	5	3	2	7	0	0	544	8	3	38	40	4	2	23	20	15	11	2	0	166
2016年	147	117	139	162	4	6	2	5	0	0	582	7	4	14	16	3	2	19	7	28	9	0	0	109
2017年	126	109	94	95	3	1	1	5	0	0	434	1	0	7	5	2		10	10	11	2	0	0	48
2018年	129	149	38	51	3	1	0	5	0	0	376													
2019年	211	263	191	180	1	3	3	7	0	0	859													
計	1337	1446	1098	1071	29	21	14	41	0	1	5058	477	450	562	346	132	99	143	78	120	68	5	1	2481

(1) 人為的環境変化による影響

2019年の森下公園でのクマゼミの採集数はこれまでで1番多かったが、アブラゼミの採集数はこの数年の減少傾向に変わりはない。また、清水山公園でのアブラゼミの採集数は、例年に比べて少なかった2018年よりも多く、例年以上の採集数だった。2019年の採集時期による幼虫の採集数の推移を図2-1, 2, 3に示す。また、森下公園について2019年、2015年(改修工事直後)、2012年(改修工事が本格化する前)の幼虫の採集数を図3-1, 2, 3に示す。

2019年は2018年に比べて静岡大学や清水山公園で幼虫が出現し始める時期が遅く、清水山公園で幼虫が捕れなくなる調査終了時期が例年より3~4日遅かった。

2019年はこれまでに比べてクマゼミの採集数が大幅に増加した。これまで多い年でも200匹程度だったがその1.5倍以上採集できている。中でも、森下公園において改修工事後の2015年からクマゼミの出現がほとんど確認されていなかった公園北側のエリア(図3-1中A~I)で多くの出現が確認された。このエリアは改修工事で土の入れ替えや木の伐採があり幼虫が減少し出現数が少なくなっていると考察していた。2019年は改修工事終了から5年が経過し、改修工事直後に産卵された幼虫が出

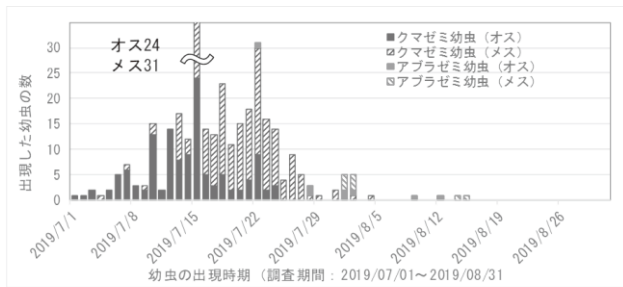


図2-1. 森下公園の幼虫の出現数の推移 (2019年)

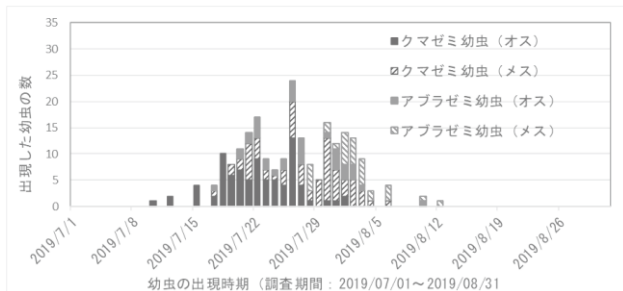


図2-2. 静岡大学の幼虫の出現数の推移 (2019年)

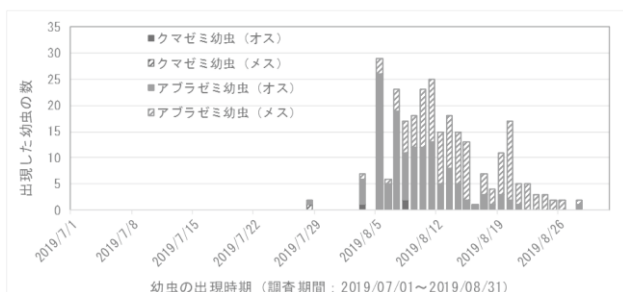


図2-3. (清水山公園の幼虫の出現数の推移 (2019年)

易になる効果があったと思われる。

森下公園以外の場所を見ると、清水山公園では毎年多くのアブラゼミが採集できるが、クマゼミはほとんど採集できていない。静岡大学ではアブラゼミの採集数は清水山公園に及ばないものの、毎年一定数捕れており、クマゼミも毎年一定数採集できている。これらの場所に共通して言えるのは樹木の密度がある程度高いこと、地面が乾燥していないことである。そういった場所は清水山公園、静岡大学、森下公園の順で多く、アブラゼミの出現数もこの順番で多い。その場所が乾燥していないことがアブラゼミの生息数に関係しているのだろう。

このように改修工事後5年間の経過観察から、産卵場所嗜好性の違い（クマゼミはケヤキを好みアブラゼミは植え込みや茂みを好む）が、改修工事（ケヤキは残ったが植え込みや茂みは撤去された）後のセミの出現数の種差（クマゼミが多くアブラゼミが少ない）を生み出す可能性が考えられる。

これらのことから考えると、森下公園にはアブラゼミの好む産卵場所がかつ幼虫が生育しやすい場所がほとんどないといえるだろう。今回の調査でクマゼミは改修工事後も幼虫が順調に生育していることが示唆されたが、アブラゼミに関しては今後出現数が増えない、もしくは減少する可能性が考えられる。

森下公園の出現時期は3か所の採集場所の中で最も早く、ここ数年はそれまでよりさらに早い調査開始日の7月1日から幼虫が捕れている。改修工事後は森下公園が開けた環境にあり、直射日光が当たりやすく地中の温度が上昇しやすくなっているのだろう。そのため、6月末から他の場所より早く地中が高温になり、幼虫はその温度上昇を感じ取って出現していると考えられる。2019年は6月の気温が低く、7月も雨の影響もあってか最低気温が25℃を下回る日が多かった。静岡大学や清水山公園

現したと考えられる。改修工事後はケヤキの木以外の産卵場所、すなわち植え込みなどが大幅に減少し、多くの成虫の産卵がケヤキに集中した結果、2019年にケヤキエリアでの採集数が急に増加したのではないかと。

一方アブラゼミは、2019年も限られたエリアでしか採集できず、そのエリアでの採集数も改修工事前に比べて大幅に減少していた。アブラゼミに関してこれまでの研究では、植え込みの伐採による幼虫の数の減少、地面の乾燥により地上出現が難しくなったことで出現数が少なくなっていると考えてきた。現在アブラゼミの幼虫がほとんど見られない他のエリア、特にケヤキ1～8は砂利が多く乾燥した固い地面になっており、本来アブラゼミが好むサクラの木の根元は根元が雑草除けで固められて終齢幼虫が地上出現できない上、孵化した幼虫は地中に潜れない。

今回クマゼミの採集数の急増が見られたことから、工事による植え込みの伐採はアブラゼミにとって幼虫数の減少だけでなく産卵場所の減少という意味も持っていたと推測される。植え込みが直射日光を遮ることによって地表面の乾燥が抑えられ、孵化したアブラゼミの幼虫が地中に潜りやすく、終齢幼虫にとっては羽化のための地上出現が容易



図3-1. 森下公園における各採集ポイントごとの幼虫出現数(2019年)

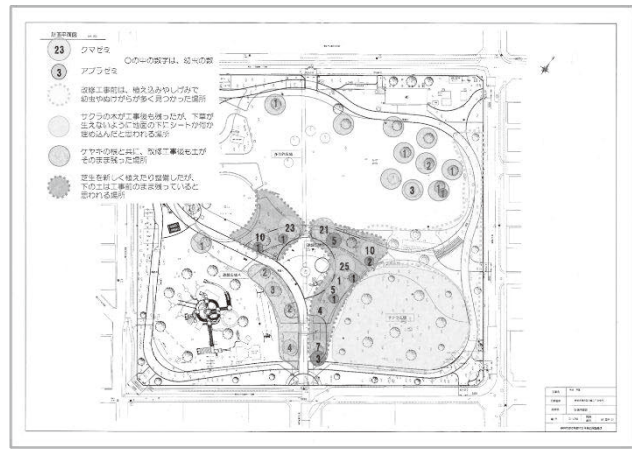


図3-2. 2015年に森下公園で捕った幼虫の見つかった場所と数(竹内希海, 2015より引用)

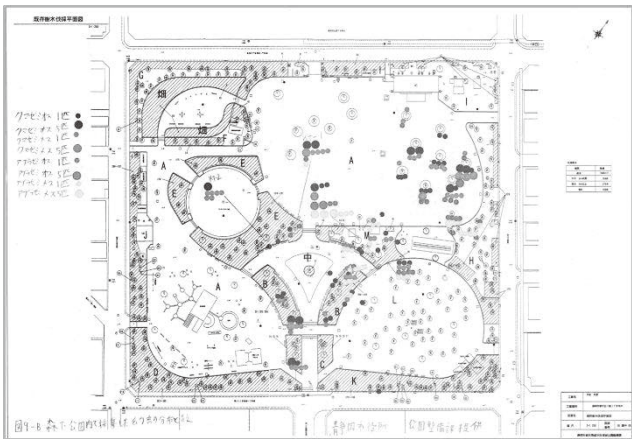


図3-3. 2012年に森下公園で採集した幼虫の分布と数(竹内希海, 2012より引用)

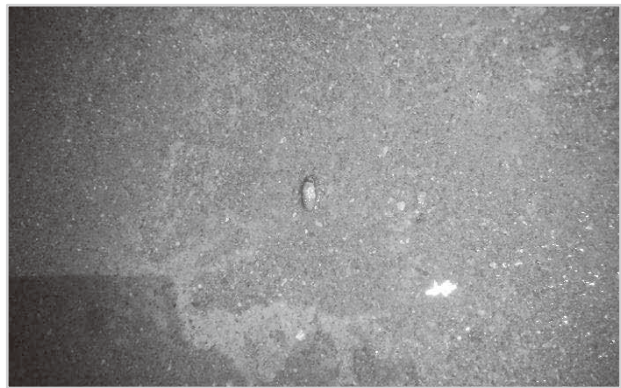


図4. 水溜まりに浸かったクマゼミ幼虫

は出現時期が遅くなっていた。その中でも森下公園では7月1日から幼虫が出現していた。したがって、森下公園の環境が幼虫の出現時期を他所よりも早めていると考えられる。

逆に、清水山公園は木が生い茂って薄暗いためもともと他の産卵場所に比べて高温になりにくい。しかし、2018年は例年以上の高温で清水山公園でもそれまで以上に高温になり、そのことが清水山公園のアブラゼミの採集数の減少の原因になったと考察した。2018年に比べて7・8月が低温であった2019年は、採集数が多かったことでこの考察の裏づけになったのではないかと考えている。文献によると、幼虫はその年に地上へ出るかの判断を春ごろ決めるということなので、7・8月の高温によって幼虫が地上出現の直前に出現を翌年まで延ばすことは考えにくい、高温の影響によって地中で幼虫が弱った可能性などが考えられる。気象条件の影響を採集場所ごとに比較するためには、各採集場所で気温や降水量、地中の温度の推移などのデータを中長期的に集める必要があるだろう。この研究の中ではできなかったが、それらのデータとこれまで集めた幼虫の個体データを比較することでより正確に気象条件と採集場所の環境が幼虫の生態に及ぼす影響を解明できると考えている。春から梅雨入り前までの中長期的な気候変動がその年の出現数に、出現数日前～当日の短期的な降水や温度上昇・降下が日ごとの採集数に影響を与えると推測している。

また、雨が降っている日や雨が降った後に森下公園に行くと水溜まりに浸かって動かなくなっている幼虫が見られた(図4)。多いときは1日で20匹以上採集できた。これらの幼虫は家に持ち帰りしばらく置いておくとほぼ全ての個体が動き出した。

このような幼虫が多く見られたのは2019年に改修工事以降で初めて多くの幼虫が出現した、開けたエリアであり、工事後に水溜まりができやすくなっていた場所でもあった。改修後の世代の幼虫が集中してこのエリアに多く出現したと大雨が重なった結果、2019年に初めてこの現象を確認できたと考えている。以前は水につかって動かなくなっていた幼虫を見て溺死していると思っていたが、

今回の調査を通して幼虫は水につかっているときに麻酔がかかったような状態になっていると推測した。

(2) 羽化行動時の光走性

採集した幼虫 842 匹のうち 666 匹（クマゼミ 348 匹・アブラゼミ 318 匹）で羽化時に明所と暗所のどちらを選択するかを観察（総観察数 51 回）し、光走性の有無を調べた。その結果、クマゼミは 348 匹中 231 匹（66.4%）が明所を選択し、アブラゼミは 318 匹中 222 匹（70.0%）が明所を選択した。統計ソフト「js-STAR」(<http://www.kisnet.or.jp/nappa/software/star/freq/2x2.htm>) の正確二項検定と Fisher's exact test を適用したところ、クマゼミ・アブラゼミいずれも明所選択した個体の割合が暗所選択した個体の割合より有意 ($p < 0.001$) に多いこと、その選択率は両種で差があるとはいえないことが分かった。すなわち、クマゼミ・アブラゼミいずれも正の光走性（明るいところを好むという嗜好性）があり、その嗜好性の強さに種差は認められない。これらの結果からクマゼミ・アブラゼミ共に、幼虫は地上出現後に羽化場所を探して歩き回る際、羽化場所を決定する際に正の光走性を示すと考えられる。これまでの研究から成虫が正の光走性を示すことがわかっている点と合わせるとクマゼミ・アブラゼミは幼虫が地上出現してからは正の光走性を示していると推測される。

一方で、幼虫は暗くなるまで地上に出てこないという行動パターンから、日光のような強光条件を避けるという負の光走性をもつことも考えられる。したがって、幼虫は地上に出る前後で光走性の正負が変わる可能性と、幼虫は常に正の光走性を持つが日光のように強い光を避ける可能性が示唆された。

4 今後の展望

改修工事のような人為的環境変化は、セミ産卵場所嗜好性の違いを介して、セミ出現数の種差（クマゼミが多くアブラゼミが少ない）のような生物に対する影響を及ぼしうることが分かった。

森下公園は今年から改修工事に産卵された世代が出現していると考えられる。来年以降はこれまでの自分の調査で得た森下公園の出現数の傾向を用いて、森下公園の出現数を予測できるかもしれない。

また、クマゼミとアブラゼミの幼虫はいずれも羽化行動の際に正の光走性を示すことがわかった。幼虫の羽化行動時の光走性や重力走性などの仕組みを調べることで、他の生物の行動の仕組みの解明につながることも考えられるだろう。

10 年間の研究で、体重以外にも幼虫の出現状況に関する個体データは可能な限り詳細に記録し蓄積してきた。今後は、それらのデータを統計処理などの手法で解析することを試みていきたい。

5 感想・謝辞

森下公園の人為的環境変化による幼虫数の推移は、毎年調査する度に新たな結果が得られた。こうした調査を積み重ねて、改修工事後に産卵された幼虫が出現し始めるまで追い続けられたことは大きな成果だと感じている。

最後になりましたが、私が小学生の頃から研究活動を奨励してくださっている山崎自然科学教育振興会の関係者のみなさま、ご指導くださり様々な経験の場を与えてくださった F S S の先生方のサポートに心から感謝申し上げます。

6 参考文献

橋本治二・佐藤有恒, 「セミの一生」, あかね書房, 2005.

沼田英治・初宿成彦, 「都会にすむセミたち - 温暖化の影響?」, 海游舎, 2007.

税所康正, 「羽化直前のセミ幼虫の走光性について」, Cicada 17(2): 19, 2002. ほか多数