

セミの羽化時期決定要因 4

静岡県立清水東高等学校
自然科学部生物班 2 年 白鳥舜

1 研究目的 (Introduction)

セミの研究を始めて 7 年目になる。時期による羽化数推移の調査を継続し、毎年それぞれほぼ同じ時期に、クマゼミ雄、クマゼミ雌、アブラゼミ雄、アブラゼミ雌の順で、1 週間程度ずつずれて羽化することが多いことが分かった。そして、年によって異なる天候よりも、毎年ほぼ同じである日長と密接な関係があり、日々の天候によっても大きく変化しにくいと考えられる地温こそが、羽化時期の決定要因であり、地温の高まりを感じて、それぞれの羽化温度になると、クマゼミ雄、クマゼミ雌、アブラゼミ雄、アブラゼミ雌がそれぞれ羽化することで、毎年この現象が繰り返されていると考えようになった。しかし、書籍やインターネットで調べても、暖かい地方で早く出現する（橋本、佐藤 1979、林、税所 2015）という記載のみで、羽化時期決定要因に関する決定的な記述はなかった。それまでの経験から、近くの公園同士で、同種のセミの出現時期にずれがあることを感じていたので、これらの公園の環境の違いから、ずれの原因は日照条件ではないかと考えた。そして、日照条件に左右される地温の違いによって、セミの羽化時期にずれができることを証明しようと、三年前から調査を始めた。エリア分けを試行錯誤し、一昨年には、同じ調査地内の 10m も離れていないエリア同士で、地温の高いエリアのクマゼミの羽化数推移が地温の低いエリアより一週間早いことを初めて確認でき、クマゼミが地温の高まりを感じて羽化をしていることを証明した。一方アブラゼミでは両エリアでのずれがはっきりしなかったため、日照条件に左右される、地温以外の要因との関連を疑い、土壌湿度が幼虫の温度感知に影響を与えているのではないかと考えた。

そこで昨年、同調査地および他調査地での羽化時期の調査とともに、土壌含水率との関連を調査した結果、再現性が確認でき、またアブラゼミの羽化時期が土壌含水率に左右されたと考えられる顕著なデータが得られ、セミの羽化時期を決める主要因は地温であり、副要因として土壌含水率があり、種により土壌含水率への反応の強さは異なると考えた。そして、この二要因を直接感知して判断しているのではなく、これらの影響で決まる“幼虫室（幼虫が過ごす土中の空間）内の気温と湿度”とを複合的に感知して羽化時期を決めているのではないかという説を提唱した。

そして今年は、この説の真偽を確認するために、昨年約 20 日ごとだった土壌含水率の調査を約 7 日毎にして、より詳しく調査した。

また、過去 6 年間の羽化数推移と気象データを比較し、私の説が否定されないかを検証した。

2 研究方法 (Method)

(1) 各エリアにおける羽化数推移と地温および含水率との関連 (2019 調査)

静岡市駿河区の宮竹神社（ア）と高松神社（イ）で、6/12 から 9/14 まで週に一度、日当たり条件で選出したエリアの、地上から高さ 3.5m までの抜け殻を全て採集し、それぞれの種ごとに雌雄を分けて集計した。

宮竹神社では、9 本の木を含む「エリア東」（以降、宮竹東）、7 本の木を含む「エリア西」（以降、宮竹西）で、高松神社では、6 本の木を含む「エリア A」（以降、高松 A）、5 本の木を含む「エリア B」（以降、高松 B）を調査エリアとした。

各エリアの地温と調査地の気温を測定した。地温は 17:00 に一番高くなる（白鳥 2016 調査・参照図省略）ので、6/12 から 8/24 までの抜け殻採集と同日に、宮竹神社は 17:00 前後、高松神社は

17:30 前後に測定した。地下 10cm 以下で地温は安定する (佐藤 2009) ので、地面に串で開けた穴に棒状の温度計を差し込んで、地下 15cm の地温を測定し、地上 60cm の日陰温を気温として測定した。

各エリアで土壌含水率を調査した。羽化直前のアブラゼミの幼虫室は、木の根から地表のすぐ下まで縦に坑道型に伸びていて、幼虫はその中を移動して過ごす (橋本、黒沢 1977) ので、地表から 5-10 cm の深さの土を掘り出し、約 1 cm のふるいにかけて約 180mL を採集して重量測定し、乾燥した室内で 2 週間以上風乾して再度重量測定し、含水率 (白井 1982) を算出した。

(2) 調査地の羽化数推移と気象データとの比較による検討 (2014-2019 調査)

羽化数推移は、静岡市駿河区の宮竹神社全域で (1) と同様に、エリアを区分せずに集計した 2014 年から 2019 年の 6/20 から 8/31 までのデータ (羽化時期決定要因として初分析のデータ) を使用した。

気象データは、静岡気象台のデータ (気象庁 HP) を使用した。ただし、降水量 1mm/日以下の場合は 0mm/日として処理した。

3 結果と考察 (Results&Discussion)

昨年、私はセミの羽化時期決定要因について、“セミの羽化時期を決める主要因は地温の上昇であり、副要因として土壌含水率があり、種により土壌含水率への反応の強さは異なる” “アブラゼミは土壌含水率に対する反応が強く、地温と土壌含水率を複合する、人間でいう体感温度のような温度感知をしているのではないか” という説を提唱した。そこで、得られた結果をこの説を元に考察する。

(1) 各エリアにおける羽化数推移と地温および含水率との関連 (2019 調査)

ア 宮竹神社 (図 1～6 省略)

クマゼミ雄は、宮竹東より宮竹西が初出現も羽化数ピークも 1 週遅い。クマゼミ雌は、宮竹東より宮竹西の初出現が 1 週遅い。ピークは同時だが、宮竹東のピークは前週から見られる。アブラゼミ雄は、宮竹東より宮竹西で初出現が 2 週、ピークが 1 週遅い。アブラゼミ雌は、宮竹東より宮竹西で初出現が 1 週早かったものの、ピークは 1 週遅い。地温は、宮竹東が宮竹西より常に 1℃程度高い。土壌含水率は、宮竹東が宮竹西より常に低く、約 4% 程度の差がある時が多い。宮竹東は、昨年より高い。

過去 3 年と異なり、調査した種および雌雄全てで宮竹東より宮竹西の羽化数推移が約一週間遅れる結果となった。昨年までは、クマゼミの推移はずれる一方、アブラゼミの推移が両エリアで重なる結果となり、宮竹東の土壌含水率が低いことで温度を低く感知してアブラゼミの羽化だけが先送りになったのではないかと考えていた。今年は、宮竹東の土壌含水率が昨年より高く、昨年の宮竹西の含水率に近かったことから、今年の宮竹東は例年の宮竹西と同様の高含水率状態であると考えられ、アブラゼミでも土壌含水率のわずかな違いには左右されずに地温による羽化時期のずれだけが現れた結果と考えている。これは、昨年高松神社でも見られた現象であり、私の説と矛盾しないと考えている。

イ 高松神社 (図 7、8、10 省略)

クマゼミ雄は、高松 A より高松 B が初出現は 2 週、ピークは 1 週遅い。クマゼミ雌は、高松 A と高松 B の初出現が同時で、ピークは高松 B が 1 週遅い。アブラゼミ雄は、高松 A と高松 B で初出現もピークも同週。高松 A は伸びが早いですがピークが 2 度ある (図 9)。アブラゼミ雌は、高松 A と高松 B の初出現は同週で、ピークは高松 B が 1 週遅い。地温は、高松 A が高松 B より 2～4℃程度高い。ほとんどの初出現とピークが起る 7/13 から 8/10 の期間には両エリアとも上昇し続けている (図 11)。土壌含水率は、両エリアで推移が異なる。両エリアとも、宮竹西と同程度か高い土壌含水率を示した (図 6 省略、12)。

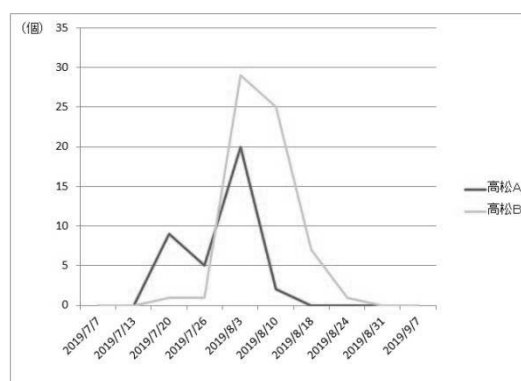


図9 高松神社における各エリアのアブラゼミ雄の羽化数推移

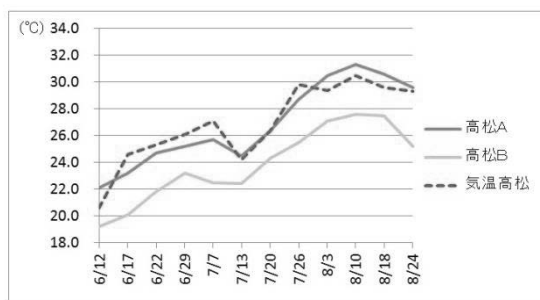


図11 高松神社における気温と各エリアの地温の推移
(各日17:30に、地温は地下15cmを測定。)

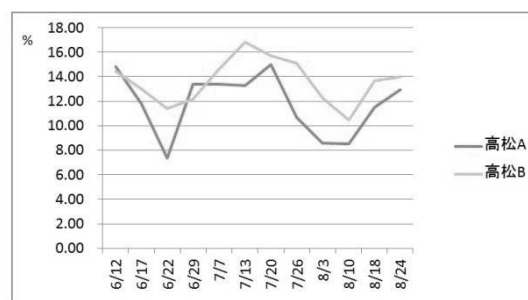


図12 高松神社における各エリアの土壌含水率の推移

宮竹神社と同様に、調査した種および雌雄全てで高松Aより高松Bの羽化数推移が約一週間遅れる結果となった(図省略、9)。高松神社は両エリアとも高含水率エリアなので(図12)、土壌含水率に左右されずに地温による羽化時期のずれだけが現れたと考えている。これは昨年も見られた現象である。

高松Aのアブラゼミ雄のピークが二度あり(図9)、本来7/26に期待されるピークが1週先送りになった結果と考えられるが、この時期地温は上昇し続けていて地温データからは先送りになる要因が見られない。また経験から、記録的な大雨があると羽化が先送りになると感じているが、この期間にはそれもなかった。しかし一方、土壌含水率の低下が見られるので(図12)、これにより温度を低く感知して羽化を先送りにしたと考えた。そしてこの先送りは、私の説を用いないと説明できない現象ではないかと考えている。また8/3にピークを迎えたのは、土壌含水率は更に低下したものの、地温が上がり続けたことによると考えている。土壌含水率の感知においては、上昇から下降に転じた時、または下降から上昇に転じた時に、より強くその低下、上昇を感知し、上昇し続けた時、または下降し続けた時には、弱く感知する傾向があると感じている。

(2) 調査地の羽化数推移と気象データとの比較による検討(2014-2019 調査)

2014-2019の6/20~8/31の羽化数推移グラフと、静岡気象台の日毎の平均気温、日照時間、降水量を重ねて図に示す(図省略、13-4)。多くの年で、クマゼミ雄、クマゼミ雌、アブラゼミ雄、アブラゼミ雌の順でずれて羽化する傾向が見られたが、2015、2018年では、クマゼミ雌とアブラゼミ雄の推移時期が重なっている。クマゼミ雌は、クマゼミ雄から約一週間遅れて推移する。アブラゼミ雌は、多くの年でアブラゼミ雄から約一週間遅れて推移するが、2014年、2016年はピークが三週間遅れている。

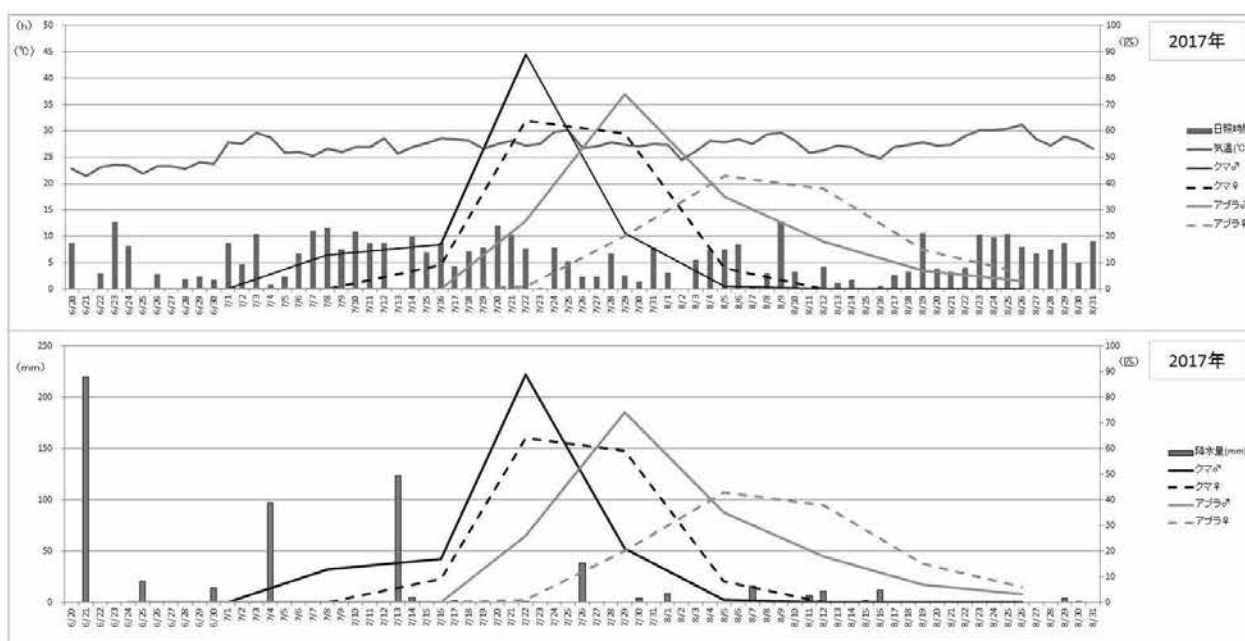


図13-4 2017年の静岡気象台における各日の降水量、日照時間、気温と宮竹神社における羽化数推移
上:日照時間、気温と羽化数推移 下:降水量と羽化数推移 (上下段の羽化数推移は同一)

各種の出現時期（図省略、13-4）には、クマゼミ雄、クマゼミ雌、アブラゼミ雄、アブラゼミ雌の順で、約一週間程度ずれて羽化するパターン（パターンAとする）と、パターンAに似るが、クマゼミ雌とアブラゼミ雄の推移が重なるパターン（パターンBとする）の二つのパターンが見られた（図18）。両パターンとも、基本的に雄の約1週後に雌の推移が追いかけることから、パターンAのアブラゼミが前倒しに羽化する（またはクマゼミの羽化が遅れる）ことで、パターンBになると考えられ、これはクマゼミとアブラゼミの羽化時期決定要因が異なることを示していると考えた。また、アブラゼミの雌のピークが先送りになる状態が見られる（図省略より2014、2016年）ことから、アブラゼミの方がクマゼミより複雑な要因で羽化時期を決定していると考えた。これは、“セミの羽化時期を決める主要因は地温の上昇であり、副要因として土壌含水率があり、種により土壌含水率への反応の強さは異なり、アブラゼミの方が土壌含水率への反応が強い”という昨年提唱した私の説と一致すると考えた。

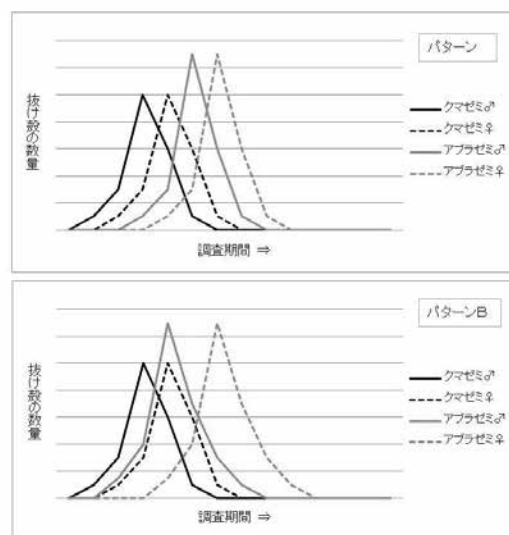


図18 クマゼミ雌雄およびアブラゼミ雌雄の羽化数推移の模式図
上(パターンA):クマゼミ雄、雌、アブラゼミ雄、雌の順でずれて推移する。
下(パターンB):パターンAに似るが、クマゼミ雄とアブラゼミ雄が同時期に推移する。

各年の6月最終調査日を1週目として、8月最終調査日（10週目）まで、前調査日から調査日前日までの平均気温（以下気温と記述）、平均日照時間（以下日照と記述）、平均降水量（以下降水量と記述）を算出し図に示す（図14省略）。

気象庁のデータからは地温と土壌含水率は分からないので、気温が高く日照が多い時には地温が高く、降水量が多いと土壌含水率が高い傾向があると予想した。すると、両種とも初出現とピークは、気温と日照が上昇した週に起きることが多く、第一に地温の高まりが羽化の引き金になっていると考えられた。

更に私の説では、アブラゼミには人間でいう体感温度のような感覚があり、地温が上昇しても土壌含水率が低いと温度を低く捉えて羽化を先送りにしたり、地温が低くても土壌含水率が高いと温度を高く捉えて羽化をすることがあると考えている。そこで、地温の高まりが予想されない週に初出現やピークが見られた時の降水量を確認した。

図14（省略）の2～7週目を拡大し、各年のアブラゼミ雄の初出現とピークを図に示す（図15-1～3）。多くの年で、初出現とピークは気温と日照が上昇した時に起きている。2016、2018年の初出現は、気温と日照が下降した時に起きている。その週の降水量は上昇している。2019年の初出現は、日照が下降した時に起きている。その週に気温と降水量は上昇している。2017年のピークは、日照が下降した時に起きている。その週に気温は横ばいで降水量は上昇している。

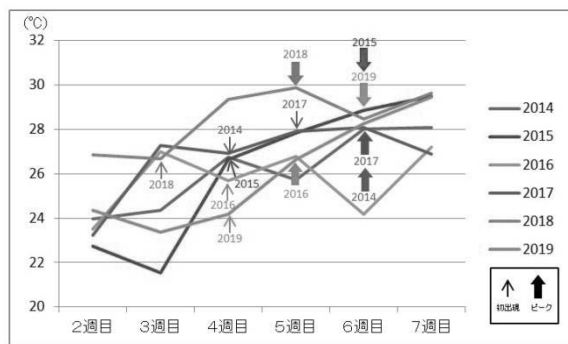


図15-1 各年の調査回ごとの平均気温の推移(図14-1より抜粋)とアブラゼミ雄の初出現およびピーク
横軸は6月最終調査日を1週目とした調査回(週)。
静岡気象台日毎データより各調査期間における一日あたりの平均値を算出。

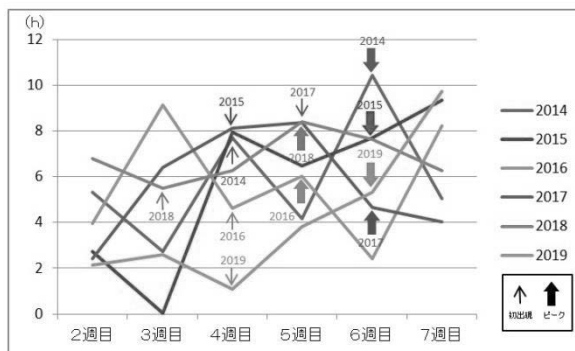


図15-2 各年の調査回ごとの平均日照時間の推移(図14-2より抜粋)とアブラゼミ雄の初出現およびピーク
横軸は6月最終調査日を1週目とした調査回(週)。
静岡気象台日毎データより各調査期間における一日あたりの平均値を算出。

アブラゼミ雄（図 15-1～3）の 2016、2018 年の初出現週は、気温と日照の下降から地温の低下が予想されたが、降水量の上昇から土壌含水率は上昇が予想される。同様に、2019 年の初出現週と 2017 年のピーク週は、気温はわずかに上昇したものの日照が下降したことから地温が低下した可能性がある一方、降水量の上昇から土壌含水率は高まったと予想される。地温の上昇でなく土壌水分率の上昇で羽化した可能性が考えられ、これらは私の説を支持する事象ではないかと考えた。

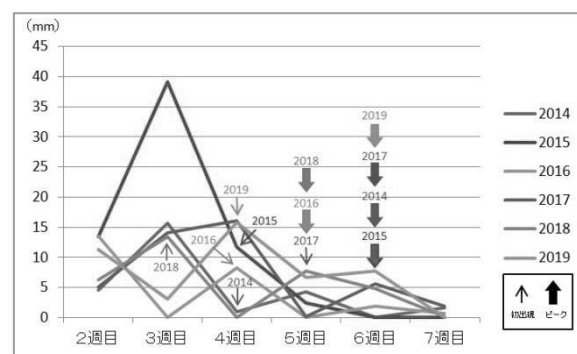


図15-3 各年の調査回ごとの平均降水量の推移(図14-3より抜粋)とアブラゼミ雄の初出現およびピーク
横軸は6月最終調査日を1週目とした調査回(週)。
静岡気象台日毎データより各調査期間における一日あたりの平均値を算出。

同様に4～9週目を拡大し、ピークが遅れた（前述）2014、2016年のアブラゼミ雌の初出現とピークを図に示して（図 16 省略）分析した（詳細省略）。2016 年は地温の低下により1週、更に降水量の低下により温度を低く感知してもう1週先送りしたと考えられた。2014 年は地温の低下によって2週先送りされ、その翌週、著しい降水量の低下があった週にピークに至り、私の説と矛盾した。この年のピークは他年より2週間程度も遅かったので、感知温度の条件が合わなくても羽化すべき時期であったと考えられ、時期を感知して羽化を決める機構の存在の可能性を感じた。また、上昇、下降の感知について（1）同様に、数値が著しく変化した場合と、上昇から下降、下降から上昇に転じた場合に感知し、むしろ後者の場合に強く感知している印象を受けた。そして、実際の温度より、変化率を感じているのではないかと考えた。

さらに1～5週目を拡大し、各年のクマゼミ雄の初出現とピークを図に示して（図 17 省略）分析した（詳細省略）。2016 年と 2019 年の初出現は地温の上昇も降水量の上昇もないと考えられる週に見られ、アブラゼミの羽化が降水量の上昇により起きたと考えられる事象と異なることから、クマゼミは土壌含水率への反応が弱いことを示していると考えた。しかし 2014 年のピークは、地温の下降が予想されて降水量が上昇した週に起きていることから、クマゼミも土壌含水率の影響を受けている可能性を否定できないと考えた。

以上より、この6年間のデータも“セミの羽化時期を決める主要因は地温の上昇であり、副要因として土壌含水率があり、種により土壌含水率への反応の強さは異なる”“アブラゼミは土壌含水率に対する反応が強く、地温と土壌含水率を複合する、人間でいう体感温度のような温度感知をしているのではないか”という私の説と矛盾しないと考えている。さらに加えて、セミには時期を感知する機構もあり、温度の高まりが無くても時期を感知して羽化することがあるのではないかと考えた。

4 謝辞 (Acknowledgements)

この研究では、デジタルスケールを静岡市立南中学校からお借りしました。卒業後にも協力いただいた南中学校の先生方、ありがとうございました。論文の執筆に当たりご指導いただいた静岡県立清水東高等学校自然科学部生物班顧問 漆畑信之先生、および応援いただいた生物班班員の皆様、囲碁部員の皆様、静岡市立宮竹小学校の先生方、ありがとうございました。

5 引用文献 (References)

- 気象庁HP <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>
 佐藤信治 2009 ぼくの庭にきた虫たち3セミ観察記 農文協
 白井清恒 1982 土壌水分量の測定法 農業気象 (J. Agr. Met.) 37(4):333-335
 橋本洽二、佐藤有恒 1979 科学のアルバム16セミの一生 あかね書房
 橋本洽二、黒沢良彦 1977 学研の写真図鑑 セミ 学習研究社
 林正美、税所康正 2015 改訂版日本産セミ科図鑑 誠文堂新光社