

セミの抜け殻が軟らかくなる原因について

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

セミの研究を続けて7年目になる。昨年初めてある地点で著しく軟らかい抜け殻を複数見つけた。

幼虫の外骨格である抜け殻はキチン質が主成分のクチクラからなり、体内で作られている。そこでこの現象の原因として、(1) 遺伝的に丈夫なクチクラ形成ができない系統であること(遺伝要因)、(2) 生育環境の影響で丈夫なクチクラ形成ができない状態であること(環境要因)の二つを考え、樹木の種類、生育状況、土壌条件などを身近な手法で分析比較し、軟らかい抜け殻の個体(図1)が出現する要因に迫ろうと試みた。

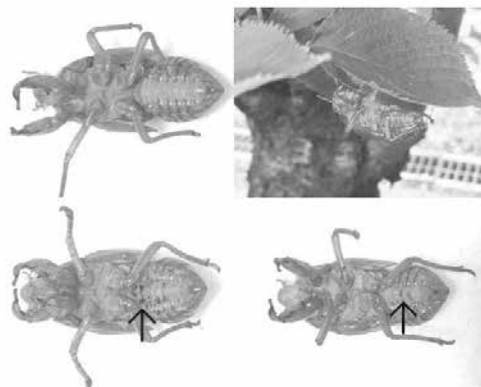


図1 軟らかい抜け殻

左上: 正常個体、右上: 軟らかい個体が葉に付く様子、

左下: オスの軟らかい個体、メスの軟らかい個体、

軟らかい個体は、腹側などに欠損部(↑)がみられる。

2 研究方法

(1) 遺伝要因の検証

静岡市駿河区の高松神社(約 800 m²)の東側の4本のサクラ(ソメイヨシノ)の生える区域(約 100 m²)を「高松神社A」(以降、高神Aという)とし、北西側の雑多な植生の区域(約 140 m²)を「高松神社その他」(以降、高神他という)と名付けた(図省略)。この二つのエリアで、地上から高さ3.5mまでの全てのアブラゼミの抜け殻を2019/7/26~8/11に週に一度、合計3回採集し、抜け殻の硬度を測定して集計し、比較した。また欠損部のある抜け殻を記録した。

抜け殻の硬度(cN)は、硬度計で腹部背面の中央を測定し、10cNごとに集計した。

(2) 環境要因の検証

高神Aと近所の「高松公園」(以降、高松という)、「高松緑地」(以降、緑地という)、「高松神明原公園」(以降、神明原という)で、高神Aと同じサクラ(ソメイヨシノ)群が別種の樹木と離れて生える区域(図省略)で、高神Aと同様に抜け殻を採集し、高神Aと比較した。

ア 樹木の種類

サクラ群4か所の抜け殻の硬度を(1)と同様に測定し比較した。

イ 体の大きさ

過去の私の研究で、樹木の大きさ、樹木の種類、羽化時期による差はなく、土壌条件によって差が出る可能性があり、メスはオスより大きいことが分かっている(白鳥舜 2014、2015、2016)。それを踏まえて、サクラ群4か所で体の大きさを比較し、抜け殻の硬度との相関を調査した。

幼虫体重と抜け殻の腹幅(腹部の一番広い部分)には高い相関がある(白鳥紗羅 2018)ので、電子ノギスで測定した腹幅を体の大きさとし、0.5mmごとに集計した。

ウ 土壌硬度

サクラ群4か所で、2018/10/29、2019/1/26、2019/4/29、2019/7/18に、102.27gの器具を約110.5cmの高さから自由落下させ、土壌に食い込んだ深さを5mm単位で測定した。各調査地で、毎回決まった5地点で測定し、平均を求め、土壌硬度を計算した。この計算では空気抵抗と摩擦力の影響を無視しているので、この値は各調査地の土壌硬度の傾向をみるための参考値である。

エ 土壤栄養

サクラ群の4か所で、土壤硬度の測定と同日に、各調査地で毎回決まった3地点で採集した土壤を混合して完全に風乾し、後日「みどりくんN」「みどりくんPK」（農大式簡易土壤検査）を用いて、植物生育上の主な栄養素である窒素（硝酸態窒素 $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、リン酸（水溶性リン酸 P_2O_5 ）、カリウム（水溶性カリウム K_2O ）を判定した。通常土壤分析には風乾土を用いる（矢作ほか2014）が、「みどりくん」は生土壤で判定するキットであり、今回は風乾土を判定したので、この値は各調査地の栄養状態の傾向をみるための参考値である。

オ 樹木の生育状況

（ア）生育状況概要

各サクラ群の特徴を掴むために、8月にサクラ群の生育状況を調査し、最大木と最小木の地上1mの幹の太さ、最大木の枝葉の広がり、最大の樹間距離を調査した。合わせて、葉の茂り具合、幹の様子、下草の様子、下葉の様子を撮影した。葉の茂り具合は、25cm×37cmの枠を下枝の葉に付くように持ち上げ、葉の茂りの密度の高い場所を選んで撮影した。

（イ）上葉の状態

土壤硬度の測定と同日に、南向きの枝先から3枚目前後の大きく展開した葉（上葉）を選んで、各調査地15枚ずつ採集した。（2018/10/29は、落葉が進んでいたため条件からずれる葉も採集し、2019/1/26は、落葉のため採集できなかった。）完全に風乾し重量を測定し、面積当たりの乾燥重量を算出した。面積は、採集した葉を調査用の紙にコピーし、紙の重さと比較して算出した。

（ウ）下葉の状態（追加分析）

8月の生育状況の観察で、窒素欠乏の指標（伴野、山田、平 2013）である黄化した葉が高神Aで顕著に多く見られた（結果オ）ので、窒素栄養欠乏の影響が強く出るという下葉（伴野、山田、平 2013）の分析をした。

8/14に上葉の状態の測定と同様に実施した。ただし、採集する葉を枝の下から3枚目程度の葉（下葉）とした。また、乾燥重量と合わせて生重量を測定し、葉の水分率を算出した。

（エ）サクラの齢の調査（追加調査）

静岡市公園整備課および高松神社の氏子の方々に聞き取り調査し、公開されている航空写真（1963、1976、1981、1990年）と比較して、サクラ群のサクラの樹齢を予測した。

カ 高松神社のサクラの比較（追加分析）

これまでの調査分析で、高神Aでは、著しく葉の水分率が低く（結果オ（イ））、また、土壤が貧栄養状態（結果エ）で、樹齢が高かった（結果オ（ウ））ことに着目し、水分率の低下の原因を絞る目的で、樹齢が同じと思われる高神Aのサクラ群と、高神他（図省略）のサクラ（3本）の生育状況を比較した。

（高神Aのサクラ群は完全に他の木々と独立しているが、高神他のサクラは別種の木々に隣接していて、高神他のサクラに付く抜け殻は他の木の根の汁を吸って育った可能性も高く、抜け殻の硬度は比較対象にはできなかった。）

（ア）葉の水分量

2019/8/24に、高神Aと高神他のサクラを、前述の葉の状態の測定と同様に、上葉と下葉について水分量を算出した。ただし、高神Aの下葉は黄化が進み落葉が始まっていたので、今回は緑色の葉を選んで採集した。

（イ）土壤栄養（高神）

2019/8/24に、高神Aと高神他のサクラ周りの土壤を、前述土壤栄養と同様に分析した。

（ウ）抜け殻観察

2019/9/6に、高松他のサクラに付いている抜け殻を採集し、欠損部の有無を観察した。

3 各項目の結果と考察

(1) 遺伝的要因の検証

- ・図5に、高神Aと高神他における抜け殻の硬度分布を示す。
- ・高神Aは高神他より、抜け殻の硬度が軟らかい。(30cN以下の個体の割合は、高神Aが18.36%、高神他が4.49%)
- ・欠損部のある抜け殻は、高松Aが著しく多かった。(高神Aが69.4% (34/49個)、高神他が1.1% (1/89個)。

高神Aと高神他は、狭い境内の中の区域なので、遺伝的に差異が無い集団であると考えられるが、軟らかい個体の割合が異なる結果になった(図5)。そこで、高神Aの抜け殻が軟らかい傾向は、遺伝的背景の有無は限定できないものの、主に環境要因によって発現していると考えられた。

(2) 環境要因の検証

ア 樹木の種類

- ・サクラ群4か所における抜け殻の硬度を図6に、欠損個体率を図7に示す。

・高神Aは他3公園より、抜け殻の硬度が軟らかい。30cN以下の個体の割合は、高神Aが18.36%、高松が3.57%、緑地が4.34%、神明原が4.00%。(図6)

・欠損部のある抜け殻は、高松A(34/49個で69.4%)が著しく多く、次いで緑地(8/23個で34.8%)で、高松(1/29個で3.4%)と神明原(1/25個で4.0%)は少ない。(図7)

・高神Aの欠損個体は、他3公園のものより欠損部分が大きい。

高神Aと他3公園は同じ種類の樹木(ソメイヨシノ)で構成されているが、高神Aだけ軟らかい個体の割合が著しく多い結果となり(図6)、高神Aの抜け殻が軟らかい事象は、付いている樹木の種類によるものではないと考えられた。

また高神Aでは、欠損部のある抜け殻が著しく多く欠損部も大きかったが、緑地でも小さな欠損のある抜け殻が次いで多く見られた。そこで今後の主要因の探索において、高神Aが突出し、次いで緑地、そして高松と神明原が並んでいる状態を目安にできると考えられた。

イ 体の大きさ

全調査地における抜け殻の腹幅と硬度の散布図(図省略)および相関係数(表省略)によると、相関は見られず、抜け殻の硬度と体の大きさには関連が無いと考えられた。(詳細省略)

ウ 土壌硬度

サクラ群4か所の土壌硬度(図省略)によると、高神Aと高松が比較的軟らかく、緑地と神明原が比較的硬いが、前述の主要因探索目安(高神A、緑地、高松・神明原の順で分離)と合致しないので、土壌硬度と抜け殻の硬度に直接的な関係はないと考えられた。(詳細省略)

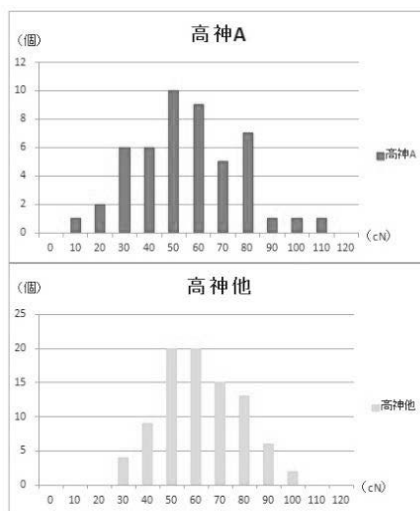


図5 高松神社2エリアにおけるアブラゼミの抜け殻の硬度分布
腹部背面中央を測定し、10cNごとに集計。

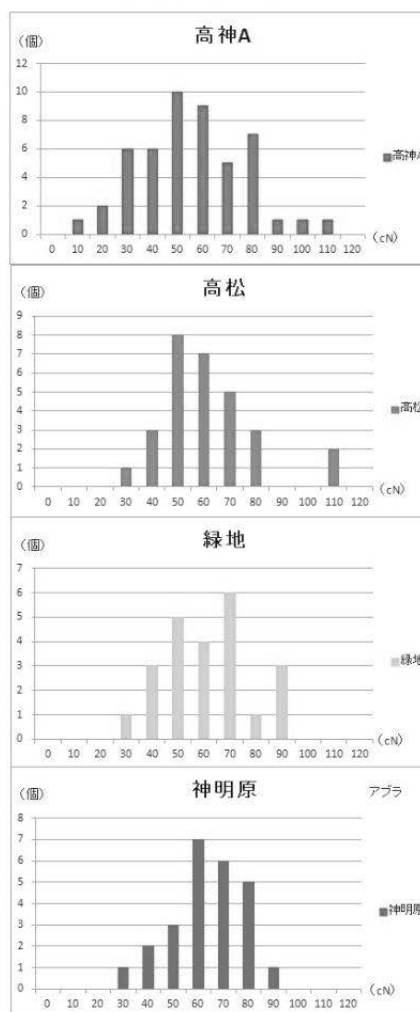


図6 サクラ群4エリアにおけるアブラゼミの抜け殻の硬度分布
腹部背面中央を測定し、10cNごとに集計。高神Aのグラフは、図5と共通。

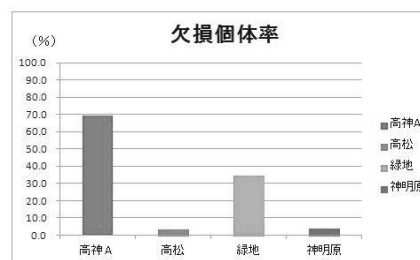


図7 サクラ群4エリアにおける欠損部のあるアブラゼミの抜け殻の割合

エ 土壤栄養

サクラ群4か所の窒素、リン酸、カリウムの含有量（各図省略）によると、高松1月の窒素含有量で窒素固定の影響と思われる上昇が見られるが、他は調査地間で大きな差異はない。また高神Aはほとんど全てで最低値なので（図省略）栄養欠乏状態である可能性が高いと考えられる。（詳細省略）

オ 樹木の生育状況

(ア) 生育状況概要

サクラ群4か所の調査結果（表省略）と写真（図省略）によると、高神Aのサクラは、樹間の狭さ（表省略）の影響からか貧弱で、窒素欠乏が原因と考えられる葉の黄化が著しく多く見られ、全ての幹にコスカシバ等の虫害および加齢の影響と考えられる大きな亀裂が見られて生育に悪影響を与えていると考えられた。また緑地でも幹に亀裂のある木が見られ、この状態は前述の主要因探索目安と合致するので主要因の候補として考えられた。（詳細省略）

(イ) 上葉の状態

各調査地の上葉の乾燥重量（図省略）と15枚分の面積（図省略）によると、高神Aの葉の状態が悪いという結果ではなく、前述の主要因探索目安とも合致しなかった。（詳細省略）

(ウ) 下葉の状態（追加分析）

・各調査地の下葉の生重量（図省略）と乾燥重量（図省略）から水分率（図13-3）を算出した。

・水分率は高神Aが一番低く、次いで緑地で、高松と神明原は高い。

水分率の低下は樹勢の衰えによる現象と考えた。この状態は主要因探索目安と合致したので、葉の水分率を指標とした検証の必要性を感じた。

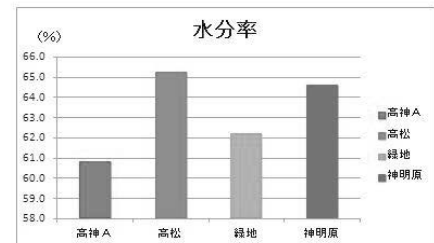


図13-3 各サクラ群において採集した下葉の水分率
枝元から3枚目程度の葉を選出して15枚採集した。

表3 各サクラ群の樹齢

	開き取り	航空写真	予想される植栽年	予想される樹齢
高神	1970年頃か	1976年	1970年頃以前	約55年以上
高松	1981年	1981年	1980年頃	約45年程度
緑地	1980年	1990年	1980年頃	約45年程度
神明原	1978年	現在	1990年頃以降	約35年以下

※開き取りは、高神は氏子に、他3公園は静岡市公園整備課に伺った内容。
※航空写真は、確認できた1963年、1976年、1981年、1990年、現在の中で、初めて樹影を確認した年を記載。

※予想される植栽年は、開き取りと航空写真を総合して判断した。

※予想される樹齢は、植栽時に5年の苗を植えたかと仮定して、5年単位で予想した。

(エ) サクラの齢の調査（追加調査）

・植栽の記録が無く総合的に予想した（表3）。

・高神Aは、3公園より10年以上老齢であり、55年以上の樹齢であると予想された。

サクラの寿命は60年程という説もあるので、高神Aの55年は老齢と言え、加齢による樹勢の衰えがあると予想された。また、施肥で寿命が延びると言われているので、窒素供給のある（図省略）高松のサクラ群は、他サクラ群より加齢が緩やかであると考えられ、加齢による衰えは、高神A、緑地、高松か神明原の順であることが予想される。この衰えの順は、前述の主要因探索目安と合致する。

カ 高松神社のサクラの比較（追加分析）

(ア) 葉の水分量

・高神Aと高神他の上葉と下葉の生重量（図省略）と乾燥重量（図省略）から水分率（図14-3）を算出した。

・樹齢が同じと思われる高神Aと高神他のサクラで、共に水分率は上葉の方が低く、また、他調査地との比較（図13-3）で一番低かった高神A下葉より全てがさらに低かった（図14-3）。

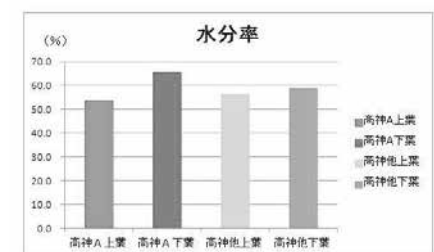


図14-3 高松神社2エリアにおいて採集した葉の水分率

上葉：南向きの枝先から3枚目以内の大きく展開した葉を選出して15枚採集した。
下葉：枝元から3枚目程度の緑色の葉を選出して15枚採集した。

予想される加齢による衰え（前述）と水分率の低下順が同じ（図13-3）であることから、葉の水分率は、樹齢と関連していると考えられた。

(イ) 土壤栄養（高神）

高神Aと高神他のサクラ周りの土壤栄養を比較（図省略）したところ、両調査地が全く同じ値だっ

たので、葉の水分率は土壤栄養状態と関連している可能性があると考えられた。また、土壤栄養欠乏が樹木の加齢による衰えを促進する可能性もあると考えた。(詳細省略)

(ウ) 抜け殻観察

・2019/8/11 の採集以降に付いた全3個を採集し、うち1個に小さな欠損部が見られた(図16)。

高神他のサクラからも軟らかい抜け殻を持つ個体が出る可能性があると考えられた。

高神Aに比較して欠損部が非常に小さく、欠損個体の出現も少ないと思われる原因は、高神他のサクラの近くには他の雑多な樹木があって根が絡み合っていると思われ、幼虫時代を通してサクラの根の汁だけを吸って成長する個体がほぼいないと思われることによると考えている。

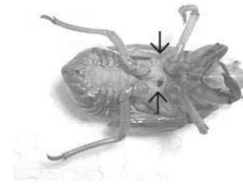


図16 高神他のサクラに付いた欠損部のある抜け殻
矢印(↑)は欠損部。

4 総合考察

高神Aで見られる抜け殻が軟らかいアブラゼミの出現の主な要因は、遺伝的背景の有無は限定できないものの、遺伝要因ではなく環境要因であると考えられ、抜け殻が付く樹木の種類とも、幼虫の大きさとも、土壤硬度とも関連が見られなかった。一方、高神Aのアブラゼミは他調査地と体の大きさは同じであることから、体を大きくする作用に必要な栄養は摂取出来ているが、丈夫なクチクラ形成をする作用に必要な栄養は摂取できていない状態であることが推測された。そこで、高神Aで見られる抜け殻が軟らかいアブラゼミの出現は、幼虫の摂取栄養の質的欠乏または過剰による作用抑制が原因と考えられると結論付けた。

幼虫は、他の樹木の根が絡む環境で無ければ同じ樹木から根の汁を吸い続けると考えられるので、摂取栄養の質的欠乏は付いた樹木の樹勢の衰えによると考えられる。樹勢の衰えの原因としては、樹木の加齢が大きな要因であると考えられた。また、加齢による衰えの程度は樹齢だけでなく土壤栄養状態にも左右されると考えている。しかし、葉の水分率の低下の要因となり得る維管束の働きの低下は、虫害や微量必須栄養素の欠乏などからも引き起こされると考えられ、未調査の要因もあることから、検討の余地が残る。

5 謝辞

サクラ樹齢の聞き取り調査にご協力いただいた静岡市公園整備課の方および高松神社氏子の方々、デジタルスケールをお貸しいただいた静岡市立南中学校の先生方ありがとうございました。

また、この研究は、静岡県立清水東高等学校 自然科学部生物班における個人研究として行いました。研究遂行および論文作成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、土壤硬度算出にご助言いただいた同物理班顧問 興津拓人先生はじめ、論文にご助言いただいた理科担当の先生方、各種分析に当たりご協力いただいた生物班班員の皆様、研究を応援いただいた囲碁部部員の皆様、ありがとうございました。

6 引用文献

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
伴野潔、山田寿、平智 2013 農学基礎シリーズ 果樹園芸学の基礎 農山漁村文化協会
矢作学ほか 2014 よくわかる土と肥料のハンドブック 土壤改良編 農山漁村文化協会
(引用資料)

白鳥紗羅 2018 静岡県小中高等学校児童生徒理化研究発表論文集 2018年版 p5-8

白鳥舜 2014 平成26年度 私たちの研究 静岡市児童生徒自由研究論文 p68

白鳥舜 2015 平成27年度 私たちの研究 静岡市児童生徒自由研究論文 p72-75

白鳥舜 2016 平成28年度 私たちの研究 静岡市児童生徒自由研究論文 p113-116