小学校高学年の部

受賞者一覧

最優秀賞（１作品）

題　名	名　前	学　校	学　年	掲載ページ
セミの幼虫の研究４～羽化のスイッチのON/OFFは何で決まるのか？～	髙橋　颯汰郎	関東学院 六浦小学校	５年	表紙 P.41

優秀賞（３作品）

題　名	名　前	学　校	学　年	掲載ページ
植物電池!?未来の再生可能エネルギーを探る	高木　七生	横浜市立 上寺尾小学校	４年	P.51
カナヘビの研究２	大矢　陽摩	横須賀市立 久里浜小学校	５年	P.53
「オタマジャクシの見ている世界」～ニホンアマガエルはいつから体の色を変えられるのか、ナゾにせまる～	大角　健	伊勢原市立 成瀬小学校	６年	P.55

神奈川新聞社賞（１作品）

題　名	名　前	学　校	学　年	掲載ページ
海洋プラスチックとプランクトンの調査　煮干しから何がわかるか？	平山　凛	相模原市立 清新小学校	６年	P.57

努力賞（４作品）

題　名	名　前	学　校	学　年	掲載ページ
大きくなると数がふえる!?～葉みゃくと葉の面積との関係～	パレハ　俊	藤沢市立 滝の沢小学校	４年	P.59
意外と弱い!?生態系被害防止外来種ムラサキカタバミ	橋本　納希	藤沢市立 湘南台小学校	５年	P.59
こんな所から生えてくる!?～植物のふしぎ　不定根～	速水　紅	藤沢市立 秋葉台小学校	４年	P.58
みんなで並木の川の生きものを知ろう	木村　虎徹	横浜市立 並木第一小学校	５年	P.58

作品を読んで　－小学校高学年の部－

横浜市環境創造局　木下　涼

今回の小学校高学年の部は生き物や環境への興味や疑問から始まり、計画的な準備と丁寧な観察や実験を行った作品ばかりで、皆さんの生き物への愛情や関心の高さを知ることができました。

最優秀賞の「セミの幼虫の研究４～羽化のスイッチのON/OFFは何で決まるのか？～」はこれまでの研究結果を基に、新たな疑問点に対して細かな条件を設定し実験を行っていました。それぞれの実験で羽化するかしないかだけでなく、羽化しなかった幼虫の翌日の様子から、羽化に必要なスイッチ以外の条件として湿度と温度が必要であることを論理的にまとめていました。幼虫のツメの様子など細かい点も逃さず観察し記録してあり、素晴らしい作品でありました。

優秀賞の「植物電池⁉未来の再生可能エネルギーを探る」では、植物の色々な場所や土に電極を設置し、電気が起きるかを実験して調べていました。目の付け所が面白く、今後の発展に期待できる実験でした。

同じく優秀賞の「カナヘビの研究２」はカナヘビの詳細な観察に加え、その他の身近なは虫類についても、は虫類ごとに行動が違うこと、同じ種類のは虫類でも個体差があることなどを実験と観察を通じてよくまとめられていました。

優秀賞のもう１点、「オタマジャクシの見ている世界」～ニホンアマガエルはいつから体の色を変えられるのか、ナゾにせまる～」はオタマジャクシの体色の変化について日光の影響、周囲の環境、時間と条件を変えながら実験し、丁寧に結果をまとめていました。

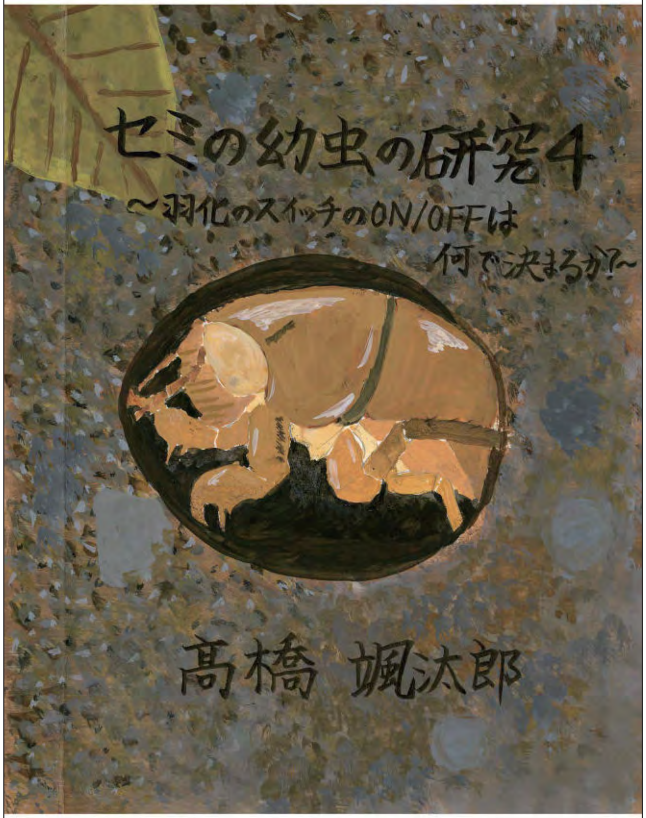
神奈川新聞社賞の「海洋プラスチックとプランクトンの調査　煮干しからなにがわかるか」は、世界中で深刻化している環境問題に、煮干しの胃袋という独自の視点で調査を行った点が素晴らしかったです。また、初めて使ったパソコンで、必要なデータや写真を上手く表現し、大変読みやすい作品になっていました。

インターネット、テレビ、自分の身の回りの場所…様々なところに皆さんが「なぜ！？」と思うものは沢山あります。この作品集を読んでいる時期だと、道や公園にある木について、葉が落ちているもの、緑の葉がついたままのもの、この２つの違いはなんだろうと調べてみると面白いかもしれません。これからも色々なものに興味をもって、調査・実験・観察をしてください。応援しています！

セミの幼虫の研究４～羽化のスイッチのON/OFFは何で決まるのか？～

関東学院六浦小学校　５年　髙橋　颯汰郎

最優秀賞



目次

目次 ― 1
これまでの研究 ― 2
研究のきっかけ① ― 4
研究のきっかけ② ― 6
研究のきっかけ〈まとめ〉 ― 7
調査した場所と日時 ― 8
実験1 湿度の実験 ― 9
実験2 運動量の実験 ― 13
実験3 温度の実験❶ ― 18
実験3 温度の実験❷ ― 21
実験3 温度の実験❸ ― 22
実験3 温度の実験❹ ― 23
考察①まとめ穴から出てくるきっかけとは ― 26
考察②まとめ羽化のスイッチが入る条件とは ― 27
翌日の様子 ― 29
まとめ ― 30
今後の課題そして終わりに ― 31
参考図書など ― 33
指導してくれた人 ― 33
(オマケ)これからの研究のタネさがし ― 34～41

これまでの研究

2017年（1年生）、2019年（3年生）、2020年（4年生）、に横浜市金沢区能見台3丁目中央公園でアブラゼミをメインに、調査、観察、実験して分かったことは、

- 中央公園では、アブラゼミ、ミンミンゼミ、クマゼミ、ニイニイゼミ、ツクツクボウシの5種類のセミが発生している。
- 最高気温が28℃以上、平均気温が25℃以上になってから約17日後に幼虫が出てくる。（2017年、2019年、2020年）。これを、「17日後の法則」と呼んだ。
- 幼虫は、穴の中で上の枝や葉を目で追って一番近くの木を見つけ、すぐ行けるように木の方を向いて、夕方になるのをまつ。そして、270°ある視野で、より近くの羽化に適した物を目がけて歩き、場合によっては方向転換する。

視野の実験

アブラゼミの羽化の様子

- 幼虫は、公園内の電灯の光があたっている場所より、あたっていない場所を好み、38倍ものちがいがあった。そして、より高い所へ行くために、より細い枝を選びながら進む。また、湿度が高い所でよく育つ木（タラヨウやクスノキなど）に多く登る。
- 羽化にかかる時間を45匹調べると、個体によって98分～244分とすごく差が大きい。

- 幼虫は一度穴から出てくると、その日の晩のうちに羽化しないと死んでしまう。羽化には「タイムリミット」があるようだ。羽化不全になるパターンとして多いのは、①背中がわれないでそのまま固まる。②背中がわれて固まる。③頭が出た状態で固まる。④左右対称に出ないで固まる。頭がカラから出れば、体は成虫に変化していて、翌日以降も数日は生きられる。

研究のきっかけ①

今年は全体的に気温の上昇が早く、蝶やトンボなども例年より早く発生していた。なので、今年はセミの発生も早いのではないかと思っていた。そんな中、昨年は7月8日だったのにくらべ、今年は6月9日と1ヶ月以上も早く「17日後の法則」が"発動"した。この予想だと、6月26日頃に出てくることになる。そのため、6月20日から調査を始めた。すると、穴の中にいる幼虫を見つけた。穴の中の幼虫は次の日になっても穴の中にいた。昨年までは、穴を開けた日に出てきて羽化すると思っていたのでおどろいた。そこで、穴の中にいる期間がどれくらいなのか調べた。(表1) すると、なんと約1週間ほど穴の中で待機していることがあることが分かった。(表1)

方法 見つけた穴に軽く土をかぶせる。中に幼虫がいれば、再び穴があくことを確認した。そこに旗を立て、翌日からあいているか、うまったままか調べる。穴があいていたら、再び土をかぶせておく。穴がうまったままの場合、最後にあいていた日を羽化した日とみなした。

表1

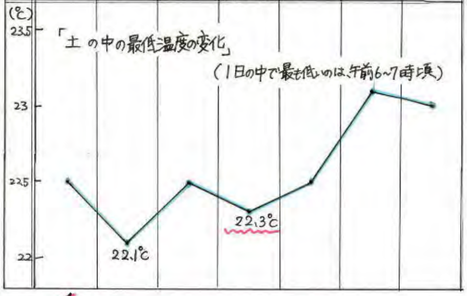
	6/20	6/21	6/22	6/23	6/24	6/25	6/26	6/27	6/28	6/29	6/30	7/1	7/2	7/3	7/4	7/5	7/6	7/7	7/8	7/9	7/10	7/11
穴A	幼虫発見	目視確認	姿見えず	姿見えず 穴うめる	変	化	無し→	穴があく 穴うめる	変	化	無し→	調査終了										
穴B																幼虫発見 穴うめる	穴あく 穴うめる	穴あく 穴うめる	変	化	無し→	調査終了
穴C										幼虫発見 穴うめる	穴あく 穴うめる	変		化		無	し→	穴あく 穴うめる	穴あく 穴うめる	変化	無し→	調査終了

全部で74個調べたが、代表的な3つをあげた。

その後、土の中の温度も調べた。そして、土の中の温度と幼虫が穴の中にいる期間を照らし合わせてみると、土の中の温度が22.3度を下回らなくなると、幼虫は土の中で待機することなく、その日の内に、穴の中から出てきて羽化することが分かった。(表2)

表2　土の中の温度と幼虫が穴の中にいる期間

	7/11	7/12	7/13	7/14	7/15	7/16	7/17
穴D	穴発見 穴うめる	変化無し	穴あく	変	化	無し	(この後も変化なし)→
穴E				穴発見 穴うめる	変化	無し	→
穴F				穴発見 穴うめる	変化	無し	→
結果			穴Dの幼虫が羽化した	穴Eの幼虫が羽化した。穴Fの幼虫が羽化した。			



方法 土の中に温度計を埋めた。

研究のきっかけ②

7月16日、クマゼミを家で羽化させようとしたら、幼虫の姿のまま固まってしまって、全く動かなくなってしまった。死んでしまったと思っていたが、翌日手に取ると、少しピクピク動いた。「生きてる?!」と思って、これには驚き、思い切ってカラをむいてみた。すると、なんと足をわずかに動かし始めた。本当は生きていたが、カラが固まり、中で動けなくなってしまっていたのだった。僕は、昨年羽化不全になってしまった幼虫も、このクマゼミと同じで、本当はカラの中で生きていたのではないかと思った。昨年、「頭が出ると死なない」と思っていたのは、頭が出れば動いていることが分かって、生きていることに気づいたからだと思う。これらの幼虫達はなぜ、カラがうまくやぶれなかったのだろうか?体の中身は成虫の姿になっていて羽化するために変化していた。

「羽化のスイッチ」というものがあるとすると、ONにはなっていたのに、何かの理由で途中でOFFに切り替わってしまったのではないか?

研究のきっかけ〈まとめ〉

①穴の中の幼虫が1週間ほど生きていたこと。
②カラが固まってしまい、出られなくなり羽化不全になっていたのに、カラの中で生きていたこと。

この2つのことから、

> ①「穴から出てくるスイッチ」とは何か?
> ②「羽化するスイッチ」が"ONになる"・"OFFのまま"の条件とは何か?
>
> 知りたいと思い、実験を始めた。

穴から出てくるスイッチとは…
　穴で待機している幼虫が出てくる条件のこと。

羽化するスイッチとは…
　羽化を始めるために、体を変化させるタイマーのようなものだと考えている。スイッチが"ONになる"と、幼虫は羽化にむけて体を変化させていく。そのための条件のこと。

調査した場所と日時

場所　横浜市金沢区能見台中央公園

この公園は、春には桜が咲き、夏にはショウリョウバッタや、クワガタや、ヤモリや、アオダイショウや蝶などのたくさんの虫や生き物が生息している。秋にはイロハモミジが色づく。だが、タイワンリスに生き物が食べられたり、ナラ枯れの被害も起きている。

日時　6/20～8/16

幼虫調査は、午後6時50分～午後7時45分まで公園の木や地面を見て回り、数を数える。実験に必要な幼虫は採集する。

中央公園の様子　夜7時すぎ

実験に使った幼虫の種類

アブラゼミ

8

実験1　湿度の実験

幼虫の時は「カラ」の部分はさわった感じ、水分がある。ぬけ殻になると、パリパリに乾いている。乾き具合が何か関係しているのではないか？そこで、湿度が高い環境と湿度が低い環境で羽化にどう影響するのか調べた。

〈方法〉

- 湿度が高い環境…直径2.5cmの厚紙の筒を5cmの高さに切って、厚紙でふたをして、入れる。それを、9cm×13cm×14cmのタッパーにしめらせたキッチンペーパーを入れたものに入れ、一晩すごさせる。幼虫A～Eの5匹。(表3)
- 湿度が低い環境…直径2.5cmの厚紙の筒を5cmの高さに切って、厚紙でふたをして、入れる。それを、9cm×13cm×14cmのタッパーに乾燥剤を入れたものに入れ、一晩すごさせる。幼虫F～Jの5匹。(表3)

湿度が高い環境　湿度が低い環境

9

〈仮説〉

昨年、羽化をさせていた幼虫の中で、羽化を始められなかった幼虫達は、カラが固まってしまい、カラをわれなかったと思った。湿度が高い環境は、より夏の自然と似ているので、容器の中でも羽化をはじめると思う。湿度が低い環境はカラが固まってしまい、羽化できないと思う。

〈結果〉

①羽化のスイッチONかOFFか？

	湿度が高い環境	湿度が低い環境
スイッチがOFFだった幼虫の数	4匹／5匹中	4匹／5匹中

湿度が高い環境

5匹中4匹の幼虫は、羽化のスイッチはOFFのままで、翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。

湿度が低い環境

5匹中4匹の幼虫は、羽化のスイッチはOFFのままで、翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。

5匹中1匹の幼虫は、死んでしまった。その幼虫のカラをむいてみると、中がしわしわで水分が減っていた。カラは、乾いていてパリパリしていた。

容器の改良

厚紙だと、幼虫が中でひっかいてつめが機能しなくなってしまったので、ヤクルトの容器に変更して、実験を続行した。

10

②OFFのままだった幼虫の翌日の様子

朝になったら外と同じ気温湿度の木や網に登らせた

表3

湿度が高い環境		湿度の低い環境	
A	つめが機能しなくなる	F	弱って歩けない状態
B	つめが機能しなくなる	G	弱って歩けない状態
C	つめが機能しなくなる	H	弱って歩けない状態
D	羽化をはじめて頭が出て固また	I	羽化をはじめて頭が出て固また
E	(夜の間に羽化した)	J	(死んでしまった)

•A～Dの幼虫

A～Cは、厚紙がボロボロになるほど中からつめでひっかいていた。そのため、つめが木にひっかからなくなってしまい、羽化できなかった。だが、つめが機能していれば、無事羽化していたと思う。Dは羽化をはじめたが、頭が出た状態で固まった。

•F～Iの幼虫

F～Hは、かなり弱っていて、歩けなかった。Iは羽化をはじめたが、頭が出た状態で固まった。

丸まって機能しなくなってしまったつめ

正常にとがっているつめ

11

〈思ったこと〉

予想に反して、湿度が高ければ必ず羽化するスイッチがONになるという訳ではなかった。湿度が高くても低くても羽化のスイッチはほぼOFFだったが、翌日の様子では大きな違いがあった。湿度が低い環境で一晩過ごした個体は、弱ってしまいそのまま羽化できず動かなくなってしまった。自然界では乾燥剤を入れるほど乾くことはないと思うが、OFFになるどころかとても弱ってしまうことには驚いた。爪が機能しなくなった幼虫は湿度が高かったため「今羽化をはじめなければ」と本能的に感じたのか、容器の中ですごくもがいていた。翌朝も元気だったので、爪が悪くなっていなければ翌日、木や網に登って羽化できる体力はあったと思う。幼虫にとって湿度が低くなるということはとても危険なことなのだと思った。

実験では、実験中や翌日に死んでしまったり、弱って羽化不全になってしまうことが多かった。実験としてはもっとサンプル数がほしかった。しかし、たくさんの幼虫が死んでしまうのはかわいそうだった。ぎせいになった幼虫に報いるために僕の研究をしっかりやることが大切だと考えて、少ない数だが実験を続けることにした。

実験2　運動量の実験

昨年、カラをやぶれなかった幼虫は、歩きすぎて体力不足により、カラをわれなかったのも原因だったのではないかと思った。そこで歩き回れる環境と歩き回れない環境で羽化にどう影響するのか調べた。

〈方法〉

・歩き回れる環境…23cm × 35cmのプラスチック容器に入れ、一晩すごさせる。K～Oの幼虫。(表4)
・歩き回れない環境…直経4cmのヤクルト容器を5.5cmの高さに切って、ふたをして、ティッシュでくるんで入れ、一晩すごさせる。P～Tの幼虫。(表4)

歩き回れる環境

〈仮説〉

歩き回ると体力不足で羽化できないと思う。歩き回れない環境は、より穴の中の環境に似ているので、幼虫の姿のまま生きていられると思う。

歩き回れない環境

〈結果〉

① 羽化のスイッチONかOFFか？

	歩き回れる環境	歩き回れない環境
スイッチがOFFだった幼虫の数	3匹 / 5匹中	5匹 / 5匹中

歩き回れる環境

5匹中3匹の幼虫は、羽化のスイッチがOFFのままで、翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。

歩き回れない環境

5匹全部、羽化のスイッチは入らず、翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。

夜の間に羽化を始めたN

その後、つめを網にひっかけてやると無事羽化した。

② OFFのままだった幼虫の翌日の様子

朝になったら外と同じ気温・湿度の木や網に登らせた

表4

歩き回れる環境		歩き回れない環境	
K	羽化をはじめてひっくり返る時に落下	P	無事羽化
L	羽化をはじめてひっくり返る時に落下	Q	無事羽化
M	羽化をはじめて頭が出て固まった。	R	無事羽化
N	(夜の間に羽化した)	S	無事羽化
O	(夜の間に羽化した)	T	無事羽化

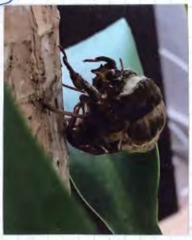
○K～Mの幼虫

KとLは、羽化を始めたがひっくり返っている時に落下した。Mは、頭が出た状態で固まった。

○P～Tの幼虫

P～Tは、無事羽化した。

PとQの翌日の様子



この状態で固まってしまったMの翌日の様子

〈思ったこと〉

歩き回れない環境では、すべての幼虫が僕の予想通り羽化のスイッチは入らないままで一晩過ごし、翌日に無事羽化した。予想通り、この条件は穴の中の環境と似ていて穴の中で待機しているときと同じ状態だったからだと思った。翌日元気に羽化できたのを見ると、環境によってONにする時を見極めているようだった。これは新しい発見だった。

歩き回れる環境では、予想ではたとえ一度ONになっても体力不足になると羽化できず結局OFFになるのではと思っていたが、それは違った。なんと2匹、スイッチがONになって羽化を始めたので驚いた。つかまる場所が無いのにきちんと体が全部カラから出ていたのでそれを見てまたまた驚いた。(ただ、この個体は羽化しても羽がきれいに伸びなかった。なので、その後、このような場合は羽化後すぐに網につかまらせて羽化しても羽が伸びるようにした。)この2匹は、もしかしたら「これ以上歩くと羽化の体力が無くなる」と気づいて、羽化のスイッチをONにさせたのではないかと思った。

OFFのままだった幼虫2匹は、翌日、木や網に登らせるとすぐ羽化のスイッチがONになってしばらく順調に羽化していた。しかし体がひっくり返って腹を抜く時にまだ足でカラをつかめてないまま腹がカラから抜けてしまい、落下して羽化失敗した。体力不足だと思った。ここで体力不足になることを幼虫自身は気づけなかったんだと思う。あとの1匹は頭が出るところまでは順調だったが、そこで体力がなくなったらしく、固まってしまう。「自分の体力があとどれくらい残っていて、いつ羽化スイッチをONにするか?」それが、幼虫の考える、とても絶みょうで難しい問題なのだと思った。

16

オマケの話

•抜け殻が同じところに集まるのは…?

昨年の実験「手作り羽化装置実験」では、幼虫はより高いところへ行くために細い枝を選んで登っていることが分かった。そこでは不思議と何匹もの幼虫が同じ枝先に行くことがあった。個体差があるとしても、使える体力量はどの幼虫もほとんど同じだとすると、細い枝を選んで登っていくうちに自然と同じ場所にたどり着いていたのではないか。

実際に、公園でも同じ木の同じ枝の先に何匹も抜け殻が重なっていることがある。これはただの偶然ではなく、幼虫が高く細い枝先に行きたいと思っていることと、幼虫が自分にあとどれくらい体力が残っているかをきちんと分かっていることで、起きる出来事なのだと思った。

17

実験3 温度の実験①

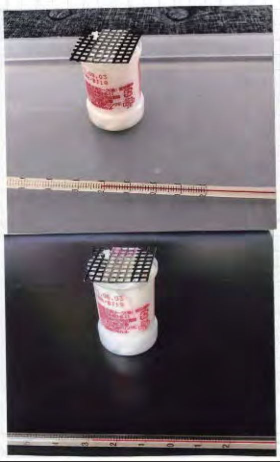
幼虫は地中の温度が上がるまで、土の中で待機している。幼虫にとって温度は大切なことなのだろう。そこで、温度を変えるとどう羽化に影響するのか調べた。

〈方法〉

土の中で何日も待機していた幼虫は、22.3℃を目安に外に出て羽化をはじめていた。そこで、冷房を使い22℃以下にした室内(写真上)と、窓を開けてほぼ外の気温と同じにした室内(写真下)に、それぞれ幼虫を置いて、一晩過ごさせた。幼虫は、運動量によるちがいをなくすために、直径4cmのヤクルト容器を高さが5.5cmになるように切ってふたをしてティッシュにくるんで入れる。

〈仮説〉

温度が22℃以下だと、より穴の中に近い環境になるので、羽化のスイッチはOFFのままで、幼虫の姿のまま生きていると思う。外の気温にした室内は、羽化のスイッチがONになり、羽化をはじめると思う。しかし、運動はしないのでもしかしたら羽化のスイッチはONにならないかもしれない。



22℃以下の室内

外の気温と同じ

18

〈結果〉

① 羽化のスイッチONかOFFか?

	外の気温にした室内	22℃以下の室温の室内
スイッチがOFFだった幼虫の数	5匹 / 6匹中	6匹 / 6匹中

外の気温にした室内

6匹中5匹の幼虫は、羽化のスイッチがOFFのままで翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。(6匹中1匹の幼虫は容器のふたをこじあけて外で羽化してしまったので、実験対象外とした。)

22℃以下の室温にした室内

6匹全部の幼虫は、羽化のスイッチがOFFのままで翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。

翌日まで生きていた幼虫の翌日の羽化の様子

19

② OFFのままだった幼虫の翌日の様子

朝になったら外と同じ気温・湿度の木や網に登らせた。

表 5

外の気温にした室内		22℃以下の室温にした室内	
U	無事羽化	a	無事羽化
V	無事羽化	b	羽化をはじめて頭が出て固また
W	無事羽化	c	羽化をはじめて頭が出て固また
X	無事羽化	d	羽化をはじめて頭が出て固また
Y	羽化をはじめて頭が出て固また	e	羽化をはじめて頭が出て固また
Z	(容器のふたをこじあけてしまう)	f	羽化をはじめて背がわれて固また

◦U～Yの翌日の様子

U～Xは無事羽化、Yは頭が出た状態で固まった。

◦a～fの翌日の様子

aは無事羽化、b～eは頭が出た状態で固まった。fは背がわれた状態で固まった。

翌日、無事羽化したU

実験3　温度の実験②

穴の中の環境により近づけるため、温度だけではなく、湿度も大切なのではないかと考えた。そこで、22度以下で湿度も高い環境で羽化にどう影響するのか調べた。

〈方法〉

22度以下にした室内で直径4cmのヤクルト容器を高さが5.5cmになるように切って、ふたをして、幼虫をティッシュにくるんで入れる。それを9cm×13cm×14cmのタッパーに湿らせたキッチンペーパーを入れたものに入れ、一晩すごさせる。g～kの幼虫。(表6)

〈仮説〉

湿度が高くて温度が低いと、穴の中と環境がより似ているので、幼虫の姿のまま生きていて、さらにその後も無事羽化すると思う。

翌日まで生きていた幼虫gの羽化直前の様子

〈結果〉

表 6

		22℃以下で湿度が高い環境
幼虫のまま生きていた		5匹／5匹中
翌日の様子 生きていた幼虫の	g	無事羽化
	h	無事羽化
	i	無事羽化
	j	無事羽化
	k	無事羽化

g～kの幼虫が翌朝まで幼虫の姿のまま生きていられた。

◦g～kの幼虫の翌日の様子

g～kの幼虫が無事羽化した。

幼虫hの翌日の様子

おまけの実験　温度の実験③

温度が22℃以下で湿度も低い環境でもやってみた。

表7

		22℃以下で湿度が低い環境
幼虫のまま生きてた		5匹／5匹中
翌日の様子 生きていた幼虫の	l	弱っていて歩けない状態
	m	弱っていて歩けない状態
	n	弱っていて歩けない状態
	o	弱っていて歩けない状態
	p	羽化をはじめて背がわれて固また

l～pの幼虫が幼虫の姿のまま生きていた。

◦l～pの幼虫の翌日の様子

l～oの幼虫はすごく弱っていて歩けなかった。pは羽化をはじめるも頭が出た状態で固まった。

いくら温度が低くても、湿度が低いと弱ってしまった。

実験3　温度の実験④

7月27日は夜の気温が22.1度と、すごく低かった。そして、中央公園では7月28日に羽化不全の幼虫が多く見られた。そこで、気温が低いことが羽化にどう影響しているのではと思って、22度以下で歩き回れる環境でどうなるか調べた。

〈方法〉

22度以下にした室内で23cm×35cmのプラスチック容器に入れ、一晩すごさせる。q～uの幼虫。(表8)

〈仮説〉

幼虫は羽化するが、温度が下がったことによって、途中で固まってしまって、うまく羽化できないのではないかと思う。

7/28に自然界で羽化不全になった幼虫を見つけた

この態勢でも
羽化できる →

〈結果〉

① 羽化のスイッチ ONかOFFか？

	22℃以下で歩き回れる環境
スイッチがOFFだった幼虫の数	1匹 / 5匹中

5匹中1匹のみ、スイッチがOFFのままで、翌朝まで幼虫の姿のまま生きていた。5匹中4匹の幼虫は夜の間に羽化した。その内 2匹は容器の中で成虫の姿になっていた。（下の写真）1匹は頭が出た状態で固まった。もう1匹は頭が左右対称に出なかった。

② OFFのままだった幼虫の翌日の様子

表8　　朝になったら外と同じ気温・湿度の木や網に登らせた

22℃以下で歩き回れる環境	
q	羽化をはじめて頭が出て固まった
r	（夜の間に羽化した）
s	（夜の間に羽化した）
t	（夜の間に羽化した）
u	（夜の間に羽化した）

・q の幼虫の翌日の様子
頭が出た状態で固まった。

〈思ったこと〉

温度によって羽化のスイッチのON/OFFに影響はないと思う。

実験❹では予想通り、運動したことによって羽化のスイッチがONになった。だが室温が低かったため、体力の消もうが通常より早くなった。そのため体力不足になり、羽化の途中で固まってしまったのだと思う。そんな時は一度スイッチをONからOFFに切り替えるか、一時停止すればいいと思うが、それはできないらしい。

それと、湿度が低いところでは、一晩OFFのまま過ごせたとしても翌日の羽化にかなり影響してしまい、弱って羽化できない。やはり、湿度があるということ重要だった。

〈考察〉①まとめ　穴から出てくるきっかけとは

今年は「17日後の法則」が当てはまらなかった。その理由として考えられるのは、今年は条件を満たしたのが6月9日でその日だけ特別暑かった。2017年、2019年、2020年を見てみると、最高気温28℃以上、最低気温22℃以上が少なくとも3日間、条件の他にも続いていた。また、今年の土の中の温度と、気温の関係を調べると、やはり最高気温28℃以上最低気温22℃以上が3日間続いていた。その日と幼虫が初めて穴から出てきた日も一致した。このことから、気温だけではなく、土の中の温度変化が幼虫が出てくる目安になっていたことが分かった。

穴の中の幼虫

幼虫が穴の中で一週間も待機していたのは、土の中の温度がしっかり22.3℃を越える日（それ以上はもう下がらなくなった日）を待っていたと思う。土の中の温度は一度、22.3℃以上になると、最低気温が22℃を下回らないからだ。それでは、幼虫はなぜ22.3℃を目安にしていたかというと、22℃が羽化できる、できないを決める、重要な境い目だったからだ。僕の実験では、22℃以下になると、うまく羽化できない個体がすごく多かった。自然界でも、7月27日に最低気温が22℃になるという突然さむくなった日があり、翌日は羽化不全になってしまう個体が多く見られた。

〈考察〉②羽化のスイッチが入る条件とは

実験1

湿度	高い	低い
運動	なし	なし
温度	外と同じ	外と同じ
結果	OFF	OFF

実験2

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	あり	なし
温度	外と同じ	外と同じ
結果	△ ONの傾向あり	OFF

実験3-❶

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	なし	なし
温度	外と同じ	22℃以下
結果	OFF	OFF

実験3-❷、3-❸

湿度	高い	低い
運動	なし	なし
温度	22℃以下	22℃以下
結果	OFF	OFF

実験3-❹　（実験3-❶）同じ

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	あり	なし
温度	22℃以下	22℃以下
結果	ON	OFF

・スイッチは歩くことでONになる

羽化を始めるには、湿度や温度は関係なく、運動することだけが必要となる。

スイッチをONにする理由は細かく言うと2つあり、一つ目は、幼虫の使える体力量は決まっていて、羽化する体力量も決まっている。なので、歩き回って体力を消費して残っている体力量が羽化する体力量と同じになると、「これ以上体力を消費すると体力不足で羽化不全になる」と幼虫は本能的に気づき、羽化のスイッチをONにさせるのだと思う。二つ目は、決まっている体力以上の体力を消費しそうになると「そろそろ羽化する場所に着いた」ということになって羽化を始めるためにスイッチをONにするのだと思う。

・"できるシミュレーション"と"できないシミュレーション"

幼虫は、羽化する場所まで行く体力や羽化のために使う体力を始めからシミュレーションしていることになる。これはすごいと思った。

しかし、一度羽化のスイッチがONになると、後戻りや一時停止はできなくて、湿度や温度が低い環境では羽化は失敗してしまう。湿度や温度の変化はシミュレーションできないようだ。

羽化のスイッチが入らなかった幼虫たちの

翌日の様子

◎全て無事羽化　○5匹中3~4匹無事羽化
△5匹中1~2匹無事羽化　×全て羽化不全

実験1

湿度	高い	低い
運動	なし	なし
温度	外と同じ	外と同じ
翌日	○	×

実験2

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	あり	なし
温度	外と同じ	外と同じ
翌日	×	◎

実験3-①

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	なし	なし
温度	外と同じ	22℃以下
翌日	○	△

(この実験のみ6匹)

実験3-②、3-②

湿度	高い	低い
運動	なし	なし
温度	22℃以下	22℃以下
翌日	◎	×

実験3-④　(実験3-①) 同じ

湿度	外と同じ	外と同じ
運動	あり	なし
温度	22℃以下	22℃以下
翌日	×	△

温度や湿度が低いと、「羽化のスイッチ」がOFFで一晩過ごせたとしても、翌日に羽化不全になってしまう。逆に温度や湿度が高いと、無事羽化できることが増えるのだと思った。それは、温度が低いと体力の消もうが早くなり、羽化の途中で体力不足になってしまうから。そして、湿度は低いとカラがかたまってしまい、高いとカラがやわらかくなり、より割れやすくなるからだと考えた。

まとめ

・羽化できる条件とは

羽化を始めるだけなら湿度や温度は関係ないが、羽化全体を考えると湿度や温度も重要なことだ。

羽化を始められても、湿度が低いとカラや体（中身）が乾燥してしまい弱ったり羽化不全になったりする。また、温度が低いと羽化を始めてから体力をうばわれてしまい羽化不全になりやすくなる。羽化のスイッチがONになるだけなら運動するだけでもいいが、その後無事に羽化を成功させるためには運動と湿度と温度のすべてがそろうことが必要だった。

僕は今までは、羽化のスイッチをONにする＝無事に羽化できる、だと感じていた。しかし、今年の実験からそうではないことが分かった。実際には、羽化のスイッチをONにする＋適度な湿度＋適度な温度＝無事羽化できる、だった。

・「元気な成虫」になるために羽化していない

僕は今まで、羽化が完了するまでにより体力を使わないでいる方が、より元気な成虫になれて子孫を残していけると考えていた。でも、それは違うのかもしれない。羽化完了までの体力の消費量はどの個体もそんなに変わりなくて、むしろ使える体力は、あえて全部使っているようだった。無事に成虫になれれば、今度は樹液という栄養をとることができる。なので、穴から出てから羽化が完了するまで限界まで体力を使っても大丈夫なのだ。とても効率的で無駄がないと思った。本当に羽化することに命をかけているんだと思った。

今後の課題 そして終わりに

僕が1年生の夏に羽化を初めて見た時に、「幼虫の姿からこんなに劇的に変わるなんて殻の中で一体何が起きているのだろう？」と不思議に思ってそこから研究が始まった。

でも、カラの中で何が起きているのかどうやって調べたらいいのか分からなかった。それで、まずは目に見える「幼虫がでてくる数」「気温との関係」「羽化までの様子」など昨年、今年と続けて調べてきた。自分なりに少し分かってきたように思う。

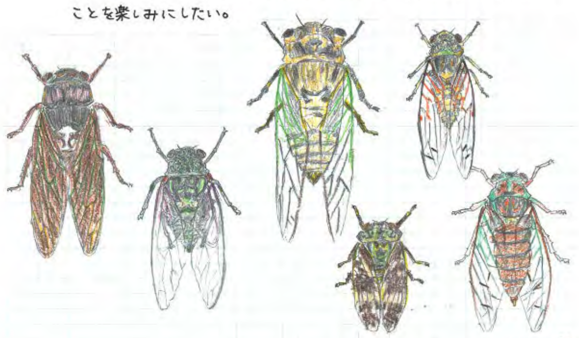
そうすると、今また疑問として湧いてくるのが、やはり「カラの中身」のことだ。今年、羽化に失敗した個体のカラをむいている時、まるでカサブタを取っているような感じに思った。カサブタは下に新しい皮ふができるときれいにむける。幼虫も、新しい皮ふを作って体を成虫に変化させている。鶏の卵も、生卵は中身が固まっていないが、熱を加えてゆで卵にすると中身が固まる。セミも、まだ幼虫の体ではカラがはがれなくて、やわらかい中の体とつながっていた。（先に背中や頭の皮ができて、お腹の方の皮は一番最後にはがれるようだった。）新しい皮ふができて皮ふが二重になると、はがれるようになる。「羽化のタイムリミット」とは別に、たとえ羽化する場所がなくても、気温などの環境が悪くても、生きていれば、体は変化し続けているのだった。

体が長細くなっている

登る物がなかったが、羽化の態勢になっている幼虫

それではセミは何が体を固まらせて皮ふを作っているのだろう？家庭科の教科書に「体や筋力を作るのはタンパク質」と書いてあった。セミもタンパク質からできているとしたら熱を加えたりしないでどうやってタンパク質を固まらせているのか？そもそもセミのタンパク質とは何なのかていつか解明したい。

今年も楽しく研究ができた。毎年セミの研究をするたびに、セミのことを前より分かってすごく嬉しい。棒グラフや円グラフを書くのも楽しかった。何より幼虫の様子をずっと見ていることが楽しい。夏になると、わくわくして、夏が終わる頃になるとツクツクボウシが鳴いて、「今年ももう終わるか」と思う。また来年、セミに会えることを楽しみにしたい。



参考図書など

- 文一総合出版「セミハンドブック」税所康正 著
- 文一総合出版「日本の昆虫1400①チョウ・バッタ・セミ」槐真史 編著 伊丹市昆虫館 監修
- 講談社の動く図鑑「move昆虫」監修 養老孟司
- 東京書籍「新しい家庭5・6」著作者 浜島 京子・岡 陽子 ほか
- インターネット　goo天気（横浜市金沢区）2021年

指導してくれた人

- 中村進一さん
- 三浦半島昆虫研究会の皆さん
- 横須賀市自然・人文博物館学芸員の内舩俊樹さん
- 井上俊彦さん