

キアゲハ

いろいろさんへんげ
 ~あやつれサナギの色三変化~

魚沼市立湯之谷中学校 1年 覚張 壮



はじめに

僕は四年生の時からずっとキアゲハの観察をしている。キアゲハの成長と、くり返しくり返し続くその生命力にとっても魅かれるからだ。そのいくつかの成長のパターンは知ることができたが、観察を始めた頃からずっと解けない謎がある。サナギの色だ。

サナギの色は大きく緑色、中間色、黒褐色の3つに分ける事ができると思う。幼虫はこの三色のうちどれかの色のサナギになる。何が原因でそうなるのか。これまでにぼくは

- ・サナギの色は保護色ではない。
- 「2001キアゲハ ~キアゲハにズームイン~」
- ・前蛹の時着いた面がツルツルかザラザラかでサナギの色が決まるわけではない。
- 「2002キアゲハ ~サナギは意外にカメレオン~」
- ・サナギになるときストレスや病気があると黒褐色系、健康なら緑色になる。
- 「2003キアゲハ ~サナギの色は病気サイン~」

など毎年一度は真剣に実験、観察を通してこうだろうという結果をだしてきた。

しかし、またしばらくすると違った考えが生まれてくる。僕がいままでに出してきた結果のひとつひとつは、科学的な面あるいは遺伝子などによるものなどから考えたら間違っているのかもしれない。京都大学の平賀壯太先生は「病気ストレス説」(2003キアゲハ より)を否定はしなかったものの、「もう一度熊本大学のやり方を参考にしてみてもは」と言われた。故意に幼虫をさわり続けてストレスを与えれば、カブト虫の幼虫なら即、奇形になってしまうのは目に見えてわかる。とすれば実験の中の黒褐色のサナギは病気になったことは事実だ。がしかし自然界での黒褐色の時はどうなんだろう。長い観察や実験の中から、サナギの色についての疑問は1つだけではなく、いくつもいくつも湧いて出てくる。サナギの色は、なぜ緑色、中間色、黒褐色なのか? どうして1色きりではいけないのか? ツルツル、ザラザラな面でも、ストレスや病気でもない。その別な理由とは? 生まれた(たまご)時から備わったものなのか? その理由が知りたくて今までやって来た観察、実験結果を見直し今年も謎解きをやってみようと思った。

研究のまえに

サナギの色について僕なりの決まりをつくった。

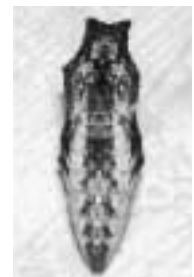
| 色 | 特徴 |
|-----|------------------------|
| 緑色 | 黄緑色 緑色のものだけ |
| 中間色 | 黄色系 褐色 少々、黒がかっていても可 |
| 黒褐色 | 全体に黒く灰色がかっている |



緑色



中間色



黒褐色

研究の動機

サナギの色は生まれつき備わっているものなのか。つまり緑色のサナギは初めから緑色になるように、黒褐色のサナギは黒褐色になるように決まっているのか、それとも三色のいずれかになる要素を持っていて何かのセンサーが働いて三色のうちのどれかにスイッチが入るようになっているのかを知りたいと思ったから。また、生まれつき決まっていなかったら何を感知してセンサーが働くのか。このことが解明できれば、僕の思い通りに三色のサナギにさせることが出来るかもしれないと思ったから。

実験

[実験]

昨年、一昨年と同じ条件で飼育しサナギの色がどれだけの割合で出るのかを調べる。幼虫を飼育している玄関内を終令の幼虫が自由に動き回ってサナギになるところを観察し緑色、中間色、黒褐色に分けカウントする。

一匹一匹がどんな条件をもとにその三色のいずれかになるかを観る。

用意するもの

- ・終令の幼虫50匹
- ・昨年、一昨年同様の実験記録

(50匹)(60匹)

場所

- ・飼育場所から動き回る範囲ならどこでも

玄関についてのサナギの位置

予想

3年間の結果からやはり黒褐色が多いだろう。場所は玄関の天井、すみの所が多いだろう。

結果

今年は壁や出窓は極端に少なく玄関の天井や天井付近の一部の壁に集中していた。また、食草の中やその近くに置いてあった軍手や靴など(手っとり早くサナギになれるところ)に多かった。

それぞれの色のサナギになった場所や条件を考えると次の表-1のようになる。

表-1

| 色 | 今年の数 | サナギになっていた場所の特徴 | 昨年の数 | 一昨年の数 | 計 |
|-------|------|---|------|-------|------|
| A 緑色 | 14匹 | 食草であるセリの中 明るい出窓に置いて あった軍手 白いツルツルしたデ コラのドア オークルのスチール 製の引き戸の枠 | 16匹 | 22匹 | 52匹 |
| B 中間色 | 4匹 | 白いでこぼこの壁 白いでこぼこの天井 茶色の木枠 | 10匹 | 12匹 | 26匹 |
| C 黒褐色 | 32匹 | 白いでこぼこ天井の 端っこ 水槽の下 食草から遠い薄暗い すみ 薄暗く感じられると ころ | 24匹 | 26匹 | 82匹 |
| 計 | 50匹 | | 50匹 | 60匹 | 160匹 |

* 昨年、一昨年の結果は今年と同じ条件で玄関内で飼育し自由に行動、サナギになったもの。

参考資料

キアゲハ ~ サナギは意外にカメレオン ~ 覚張 壮
(いきいきわくわく科学賞2002)

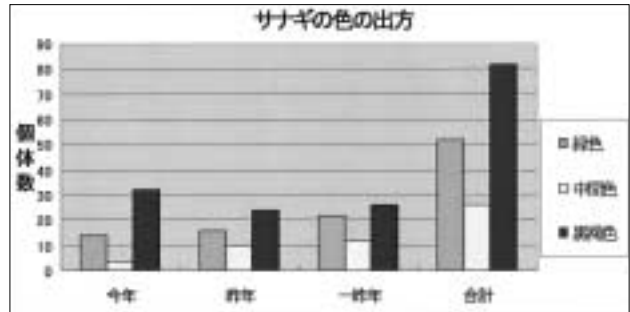
キアゲハ ~ サナギの色は病気サイン? ~ 覚張 壮
(いきいきわくわく科学賞2003)



終令の幼虫



玄関についてのサナギの位置



天井の角 玄関の壁付近の天井 玄関の天井と壁

考察

予想通りの結果になった。これらのことは、昨年の実験観察からも考えられるように緑色は気持ちよく安心できる食草の中が多かったこと。黒褐色は薄暗く食草からも遠いところ(7~10mくらい)に集中していたことが原因として考えられる。それにしてもいつもの年より中間色が少ないのはなぜなのか。カベ、ドア、戸の枠などにあまりサナギがついていなかったからなのか。

実験Iより、緑色、中間色、黒褐色のサナギにするためには「それぞれの条件」を満たしてやればばくの意のままに三色のいずれかにする事ができるのではないかと考えられる。

ここで言う「それぞれの条件」とは、サナギになっていた場所の「特徴」である。サナギになっていた場所の「特徴」=「条件」として考えるのは少し無理があるかも知れないが、実験して確かめてみる価値は充分あると思う。また、たとえば、始めから緑色に、中間色に、黒褐色になるように生まれてきた幼虫ならそれぞれの条件を満たした中に入れてもその条件に関係なく緑色、中間色、黒褐色のサナギになるのではないだろうか。

[実験]

条件A、B、Cをそれぞれ満たす装置の中に終令の幼虫を入れ、そのサナギの色を調べる。

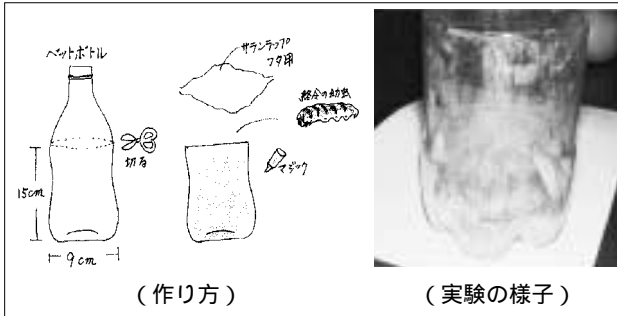
場所 ・居間の出窓

用意するもの

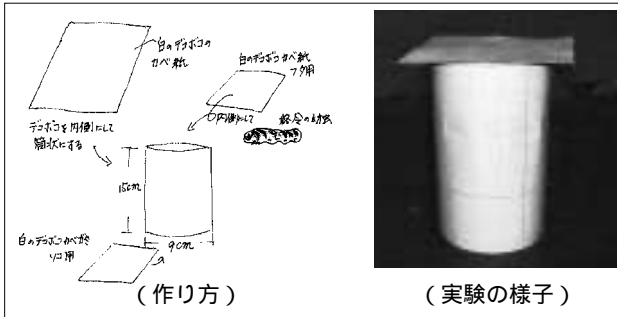
- ・終令の幼虫30匹
- ・次の条件A、B、Cを満たす装置
- 条件A 周辺の色は食草に近い緑、明るい、ツルツルなどを満たすもの 緑色の装置
- 条件B 白いでこぼこのかべ、天井のクロスに似た壁紙 中間色の装置

条件C 天上の角、水槽の下などから暗い、黒いなどを満すもの 黒褐色の装置

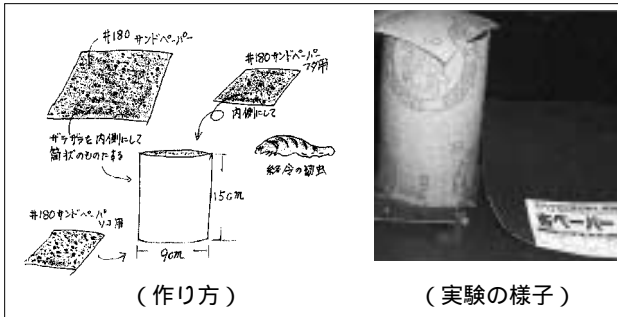
*それぞれの装置の大きさや形は出来るだけ同じようにする。昨年一昨年の実験結果から以上のような装置を考えた。



緑色の装置



中間色の装置



黒褐色の装置

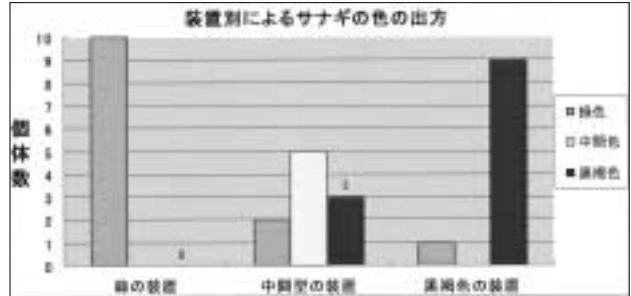
予想

よりA、B、Cの条件が効果的になるよう、黒色はザラザラを加え、緑にはツルツルを加えたので(熊本大学ではサナギの色はツルツル、ザラザラ説であるため。また、2002の時僕もその結果に傾いた事もあったので)はっきりとした緑色、中間色、黒褐色のサナギが見られるだろう。

結果

表 - 2

| | 緑 | 中間色 | 黒褐色 | 計 |
|--------|----|-----|-----|----|
| 緑色の装置 | 10 | 0 | 0 | 10 |
| 中間色の装置 | 2 | 5 | 3 | 10 |
| 黒褐色の装置 | 1 | 0 | 9 | 10 |



考察

幼虫を飼育している玄関内をとりあえず「普通の状態」と考えると、その「普通」の中であつたサナギの色は表-1からわかるように緑色32%、中間色16%、黒褐色52%である。それに対し緑の装置では緑色100%、中間色の装置では中間色50%、黒褐色の装置では黒褐色90%であり、「普通の状態」と明らかな違いが見られた訳である。このことからサナギの色は生まれつき備わっているのではないといえるだろう。緑の装置、黒褐色の装置については成功である。この実験装置を使えば容易に緑色のサナギ、黒褐色のサナギにすることが出来るはずである。

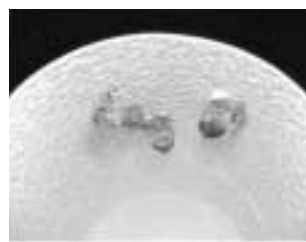
(これからは僕の思い通りに緑色のサナギにな~れ、黒褐色のサナギにな~れと言えはなってくれるだろう。)



緑色になったサナギ

緑色の装置

10匹中の10匹がすべてきれいな緑色になった。予想通りの結果だった。



中間色になったサナギ

中間色の装置

10匹中2匹が緑色、5匹が中間色、3匹が黒褐色。この割合は、予想していたことだが、完璧に中間型にする方法はないか。

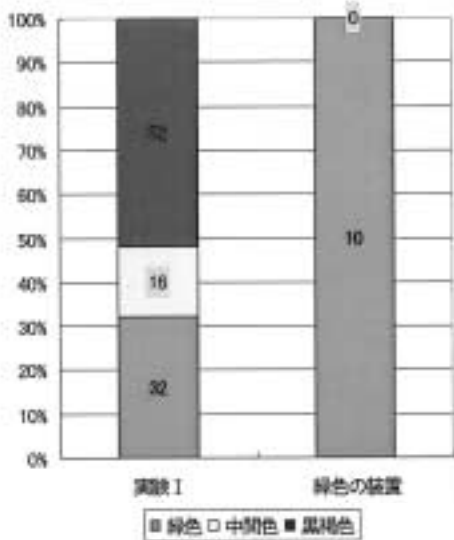
サナギさん、教えてー！



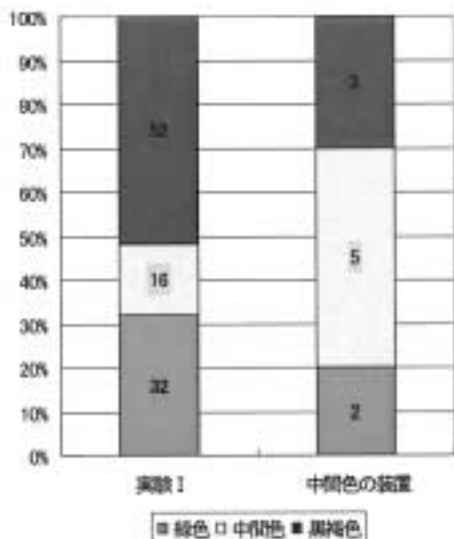
緑色と黒褐色のサナギ

黒褐色の装置

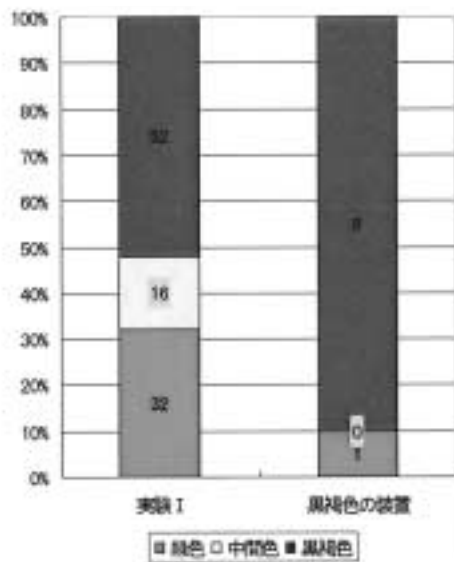
10匹中1匹が緑9匹が黒褐色になった。1匹だけ緑色になったのは、たぶんふたがいびつで光が入ったためと思われる。



実験 I と緑の装置との比較



実験 I と中間色の装置との比較

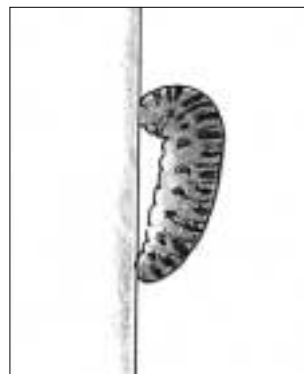


実験 I と黒褐色の装置との比較

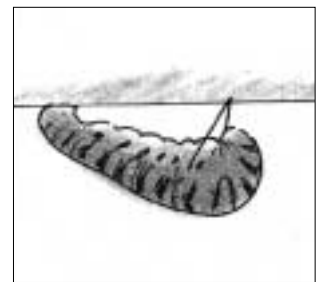
実験 I のサナギの色の割合とそれぞれの条件の装置でサナギの色の割合を比べて見たとき、明らかな違いが見られる。

サナギの色は周りの条件により決まる。

ただ中間色については考え直さなければいけない。玄関で自由になったサナギの中で中間色は、今年は特に少なかった。一昨年、昨年のビデオや写真を見てその違いを探り感じたことは、今年は壁についたサナギがほとんど無かったことだ。《壁と天井の違い》これは何を意味するのか、壁には幼虫が縦型につき、天上にはぶら下がった状態でつく、ここに原因があるのだろうか。



幼虫（縦）壁につく



幼虫（横）天井につく

[実験]

仮説 中間色の装置 + 明るさで幼虫が縦に付けば中間色のサナギにできる。

中間色のサナギにするには、条件 B + サナギに縦型についてもらう。明るさを充分に取り入れる装置を作り、終令の幼虫を入れそのサナギの色を調べる。

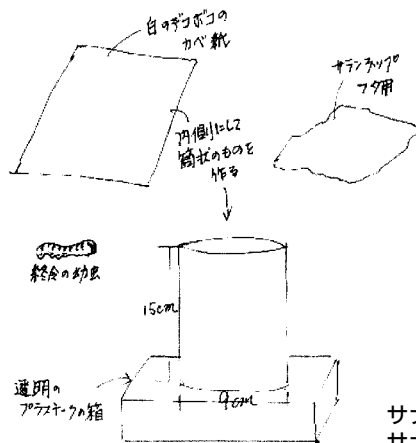
用意するもの

- ・ 終令幼虫 7 匹
- ・ 条件 B + 明るさ

場所

- ・ 居間の出窓

(対照実験として、横についたサナギは黒褐色になるのかを調べるため、同様の装置をもう一つ作り、サナギを横向きに付けた)



サナギ縦型の装置とサナギ横型の装置

ラップで上下フタをするがラップについたサナギはカウントせず、筒の中にいたもの7匹を結果とする。

結果

表 - 3

| | 緑色 | 中間色 | 黒褐色 | 計 |
|----------|----|-----|-----|---|
| サナギ 縦型装置 | 3 | 2 | 2 | 7 |
| サナギ 横型装置 | 2 | 0 | 5 | 7 |

考察

サナギが縦についたか横についたかでサナギの色が決まる訳ではないようだ。また驚いた事に実験の中間色の装置に明るさを加えただけで「普通の状態」でサナギになった時と割合が似た結果になってしまった。これは内玄関でサナギになる時と同じような状態、つまり「普通の状態」だと幼虫が判断しセンサーが働いたのであろうか。

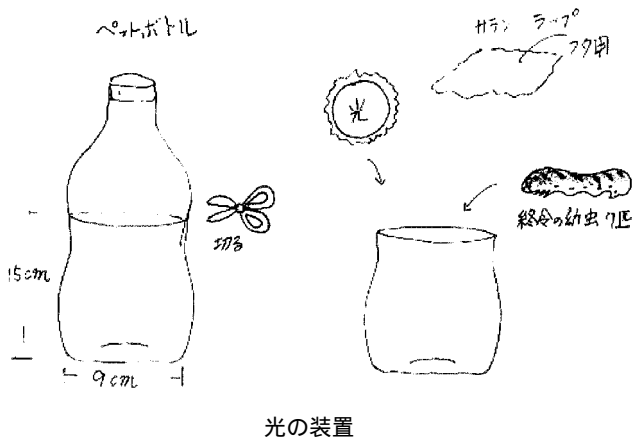
サナギの色はそれぞれ生まれつき備わっているのではなく光や色や感触などによって微妙にセンサーが働いてその時の条件に合った色のサナギになるのではないのか。ではそのセンサーの働きはどこでその条件をキャッチし作動するのか。サナギの色は、1つだけの条件で決まるわけではなく、いくつかの条件が重なったなかで三色のうちのその一色のセンサーが働くのだと思う。いろいろある条件の中でも光が大きく関係しているようだ。

実験

光を重視してペットボトルを着色せずその中に終令の幼虫を入れてそのサナギの色を調べる。

用意するもの

- ・終令の幼虫 7匹
- ・実験の緑の装置と同じようにペットボトルを使用、フタはラップ



予想

サナギの色は保護色ではないとすると幼虫は周りの色を知覚する訳ではないと思うので、ペットボトルが緑色でなくても充分明るさを取り入れたものなら緑色のサナギになると思う。

結果

日照時間が短くなったことと気温が低くなったため実験は継続できなくなった。



装置の中で蛹化できず黒くなった前蛹

食草の中で緑色になったサナギ

1匹は褐色のサナギになったが、他は早朝の気温が4~7の日は1週間ほど続いたせいか成長が特に遅く、終令をまたずに4令でビチャビチャのフンをして前蛹のスタイルに入ったが糸をかけることが出来ず落ちてしまったものが2匹、そっとペットボトルに移したが脱皮することが出来ず。やはり4令で中間色のサナギになったもの1匹、食草の中で緑のサナギになったもの1匹、まだ幼虫のもの1匹、食草の中で前蛹のもの1匹であった。実験としての十分な結果は得られなかった。

考察

この理由についてインターネットで調べてみると「昆虫の休眠」にぶつかった。

昆虫は冬のような不適当な時期を休眠という手段で活動を停止して過ごす。この活動の停止には休止と休眠があり、休止は昆虫にとって一時的に不適当な条件になった時おきる。休眠は内分泌系のホルモンが関与しておきる。

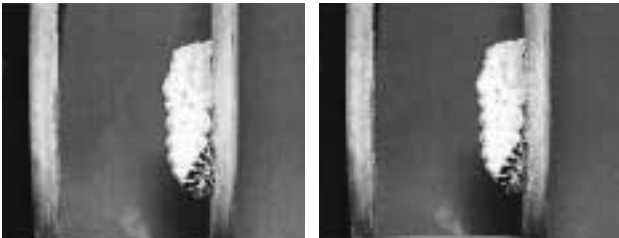
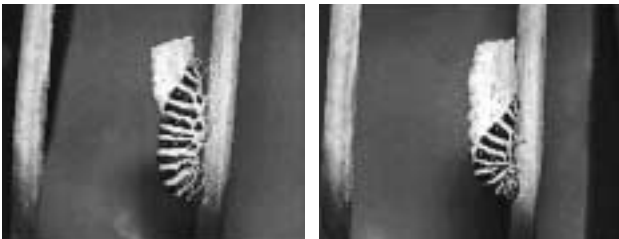
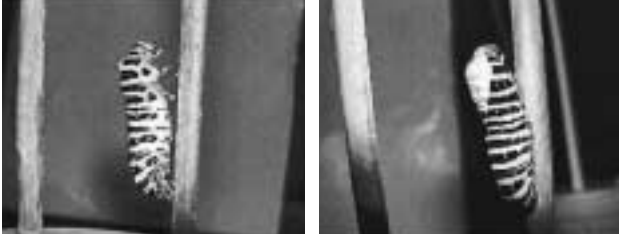
昆虫の休眠 (モンシロチョウの場合)

| | 20 | 4~5 | |
|----------|---------|--------------|-------|
| | | 10日 | 3~4ヶ月 |
| 夏蛹 | 4~5日で羽化 | 遅れるが羽化 休止 | 死亡 |
| 秋蛹 休眠 | 羽化せず死亡 | | 正常に羽化 |

上の表から実験IVの結果の場合、休止のものもいれば休眠のものもいると考えられる。つまり出発点がそれぞれ2通りあるように思われる。内分泌系のホルモンが働いているか否かである。

実験を続ける中で

ぼくは、キアゲハの一生の中で特に前蛹から蛹化するその神秘的な姿が好きだ。どうしてこんな小さな虫にこのような大きな力が備わっているのか。



蛹化の瞬間

ぼくはキアゲハについて、特にサナギの色についての資料や情報がほしくて長岡市立博物館の山屋先生に電話で伺ったところ

- ・桐谷圭治先生でインターネットにアクセスしてみても。
- ・サナギの色はどうも幼虫の何令かは不明だがその休眠時に決まるらしい。

との2点を教えてくださった。

桐谷先生をインターネットで探しながら、もう一つの「サナギの色は幼虫のうちに決まるらしい」という言葉が頭の中で渦巻いていた。そういう結論になったという資料を見てみたいと思ったが今の情報からでは探し当てる事はできなかった。

知りたい理由は、実験の段階で終令の幼虫までは、サナギの色は決まっていない。前蛹から蛹化し、その後2~3時間くらいの内に周囲の条件により決まる、とぼくは考えたからだ。

サナギが緑色、中間色、黒褐色のいずれかの色になる必要性とは何か。考えられることとしてサナギのうちは周りにどんな事が起ころうと動いたり逃げ出したりはできない。自然の中で敵に食べられたり寄生されないような、また天候、豪雨や暴風にさらされないような、そういう所に「隠ペイ」す

るための「色」かなと思う。だとすれば食草の中での幼虫が終令になるまでの段階でサナギの色を決める必要はないのではないだろうか。「サナギの色は幼虫のうちに決まる」というのには少し疑問が残る。

また理科センターの先生に、桐谷先生の事を調べていただいたり、昆虫のホルモンについての資料をいただいたりしたなかで、ぼくは「ハッ」とする発見をした。

幼若ホルモンアラタ体と脱皮ホルモンエクダイソン（前胸腺ホルモン）の関係だ。

簡単にいうとアラタ体を終令の幼虫に移植すると幼虫は間違えて加齢する。逆に若令幼虫のアラタ体を除去してみると終令幼虫をすっぱしてサナギになる。と言う話だ。

しかしこのリズムを人工的に狂わさなくとも実際、自然界では毎年起こっているということだ。ぼくがこの4年間観察した記録にもあるように3令くらいの幼虫がサナギになり越冬し4月末にミニチュアのキアゲハとなって飛び立っている。昨年は越冬せず11月には羽化して飛んでいったものもある。それも3頭もだ。毎年10月に入った頃からこの現象は起こり年3~5例ほど見られる。これは一体...。はやくサナギにならないと食草がなくなり、寒い冬をしのぐことができないと分かっている、5令幼虫にならないままサナギになるのか。そうだとすれば、どこに周りの環境を感知するセンサーがあるのか...。考えれば考えるほどワクワクして楽しくなってくる。

今年も実験IVの途中で4令の幼虫がビチャビチャのフンをしてサナギになる準備を始めた。が前蛹のままだめになったものも多く、中にはうまくサナギになったものもあるがその大きさは普通のサナギの七割くらいの大きさだ。こういった現象は毎年気温が低くなると起こる。



4令でサナギになったもの（左）と普通のサナギ（右）、大きさが違う。

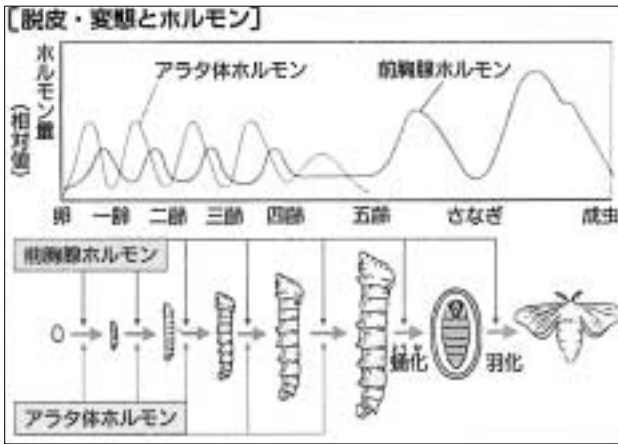


4令で食草の中で前蛹になりそのまま尾脚がはずれぶらぶらになった幼虫

急いで幼虫からサナギになる理由としてぼくは今まで

| | | |
|-------|---|-------------------------------------|
| 寒くなると | { 幼虫は死んでしまう 成長の早さが2~2.5倍遅くなる 食草が枯れてしまう } | } 身の危険を感じて早く越冬の準備態勢にはいるのだと思っていた。 |
|-------|---|-------------------------------------|

しかし科学的には、下の表の3令もしくは4令のうちに前胸腺ホルモンが働き休眠に入り低温に体する耐性を強化し、物質代謝を切りつめ、活動と発育を停止するためらしい。



脱皮・変態とホルモン（新詳生物図表 浜島書店より）

わかったこと

- ・サナギの色は生まれつき備わっているわけではなく前蛹の段階での周りの条件で決まる。
- ・実験によりサナギの緑色、黒褐色については、それぞれの条件を満たしてやることにより100%、90%とほぼ思い通りの色のサナギにする事が出来る。
- ・前蛹の段階でカベ、天上などに縦型、横型についた場合でもサナギの色に関係しない。
- ・幼虫はアラタ体と脱皮ホルモンとによって成長、脱皮をくり返し成虫にある。人工的に移植、切除することで成長を速めたり遅らせたりすることができるらしいが、自然の中でも必要に迫られると成長途中でも蛹化する事もある。

まとめ

サナギの色は自然界で生き延びていくための重大な術がある。
 保護色、前蛹の時着いた面がザラザラかスベスベ、ストレス、病気など、いろいろな自然の中の条件をみんな呑み込んだ上で外敵からサナギの期間中に身を守るための「鎧」であるとぼくは考える。

研究を終えて

7. 13水害で終令に近い幼虫がたくさん流されてしまい実験がすっかり出遅れてしまった。その上今年は猛暑で食草のセリは枯れたり、多くの生き物が平年とは全く違った発生の仕方だったと思うがキアゲハも同じで8月上旬、下旬には里に下りてくるはずが少し遅れたり、また数はずっと少なく実験はどんどん延びてしまい思うように進まなかった。幼虫の数も120匹くらいでいつも年の半分にも満たなかった。しかしこれだけでもものすごい苦勞であった。チョウも生きにくい年であったことだろう。

実験が延びている間にいろいろ考えたり、調べたりすることができ、今まで見過ごしてきたことや気がついていても「あたりまえ」だと思っていたことが実は大きな発見だったり、4年間の観察、実験を振り返り改めてキアゲハの生態を知る事が出来た。

知れば知るほどもっと知りたくなるキアゲハのメカニズム。まだやり残した実験や観察が山積みされているがゆっくりと、楽しくやっていこうと思う。

中学生になって部活に追われいつも家に帰ると真っ暗でなかなか食草や幼虫の見回りに手が回らず雑になってしまった。その点祖母には随分助けられた。また理科センターの先生にもとてもお世話になった。資料はもとよりパソコンの操作までいろいろ教えていただいた。いつも研究を終えて思うことはたくさんの人に助けられて実験や観察を進めることが出来るんだということ。自分一人ではくじけてしまいそうな時でも、誰かが声をかけてくれ勇気やヒントをくれる。

ぼくは自分の周りにそういう人たちをもったことを幸せだと思う。ありがとうございました。

今度は実験や結果に追われることなく、ゆっくりとキアゲハを見つめ、優しく見守っていきたいと思った。

『参考資料』

覚張 壮：「キアゲハⅠ～キアゲハにズームイン～」、わたしたちの科学研究第37集、2001
 覚張 壮：「キアゲハ ～サナギは意外にカメレオン～」、わたしたちの科学研究第38集、2002
 覚張 壮：「キアゲハ ～サナギの色は病気サイン～」、わたしたちの科学研究第39集、2003
 松島書店編集部：「無脊椎動物のホルモン」、『新詳生物図表』、2001

<http://a-omori.web.infoseek.co.jp>

「昆虫の休眠」「昆虫ホルモン」