

(2019.4.1 初版公開)

1

第一部: レクチャー

# チョウはどうやって餌を見つけるか?

どういう生き物なのか知っておこう

**BRH** 研究員 尾崎 克久  
JT Biohistory Research Hall 2019.3.16


第二部: 体験

## チョウの飼い方




2

### チョウのえさって?



幼虫は植物の葉っぱ



成虫は花の蜜

成虫は花の蜜を飲みます。  
特定の花である必要はありません。

## 蜜の目印（蜜標）



紫外線を写せるフィルタを使って撮った花  
人間の目には見えない模様（蜜標）がある

福原 達人  
福岡教育大学 教育学部 准教授 (理科・生物学分野)  
[http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuharada/keita/hana\\_uv\\_touka.html](http://www.fukuoka-edu.ac.jp/~fukuharada/keita/hana_uv_touka.html)

3

成虫が花の蜜を探す時は、植物が作っている「蜜標」という模様を目印にします。

花は蜜がある場所の周辺に、紫外線を反射する模様（蜜標）を作ります。

写真左: ヒトの目には黄色一色の花に見えます。

写真右: 紫外線の反射光を写せるフィルターを通して撮影すると、蜜標が見えます。

昆虫や鳥は、紫外線の波長を見ることができるので、蜜標を見ることができます。

## 成虫に自動で餌を飲ませる事ができる



4

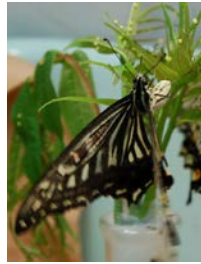
蝶が蜜を飲むときの本能的な行動の仕組みを理解していると、ある程度人間側に都合が良いように行動をコントロールすることができます。

蜜標と勘違いさせるためのプラスチック片を置き、餌を染み込ませた脱脂綿を一緒に設置すると、蝶が自分で餌を飲んでくれます。

## チョウのえさって？



幼虫は植物の葉っぱ



成虫は花の蜜

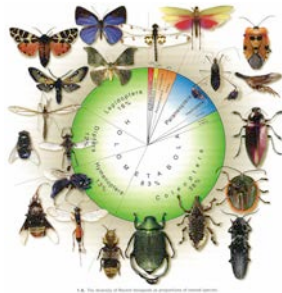
5

幼虫は植物の葉や花を食べます。  
決まった植物だけを食べています。

「食草」と言った場合、幼虫が何を食  
べるのかという意味です。

## 最も種類が多い生物は昆虫

全ての生物のうち、半分以上が昆虫



Grimaldi D, Engel MS (2005) Evolution of the Insects (Cambridge University Press)

6

地球上で最も多様化した生物は昆虫で  
す。

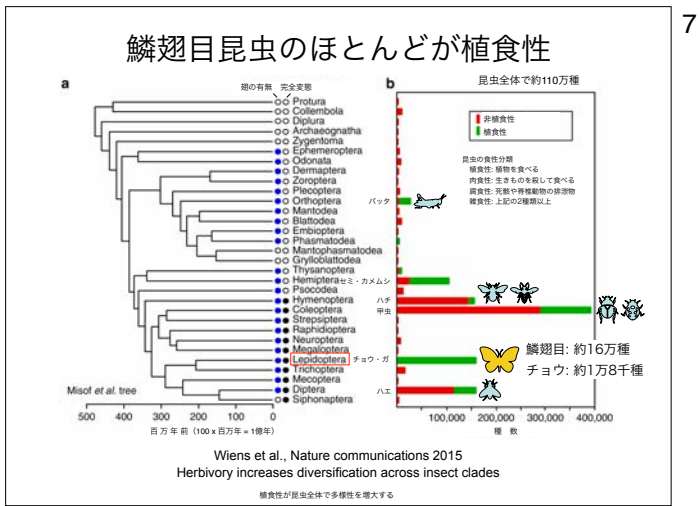
現在、学名がつけられている生物は、  
約200万種あります。

その中で最大のグループが昆虫で、過  
半数を超える約110万種です。

最大のグループである昆虫で、最も大  
きなグループとされているのは甲虫目  
です。

2番目に大きなグループとされている  
のが鱗翅目（蝶と蛾）です。翅は蜂や  
蠅のように透明な膜状ですが、その上  
を色素を持った鱗粉が覆っていて、多  
様な模様を作っています。

ちなみに、教科書的な本にはこの様に書かれて  
いますが、個人的には間違っていると考えていま  
す。どの昆虫にも寄生するハチやハエがいま  
すので、分類が行われていないだけで最大のグ  
ループは膜翅目か双翅目だろうと予想していま  
す。



7

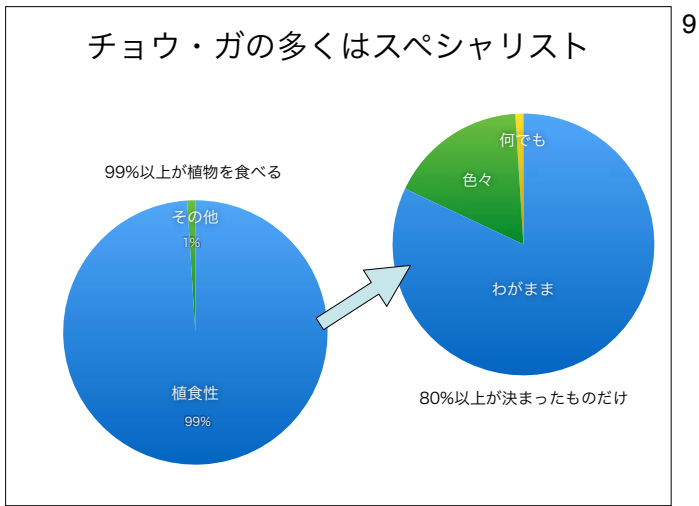
昆虫が最も多様化した原因として、いくつかの仮説がありました。かつては翅の獲得や完全変態の獲得が多様化の要因と考えられていましたが、最新の研究では植食性の獲得が多様化に大きな影響を与えたとされています。

鱗翅目昆虫（蝶と蛾）は、大多数が植食性であるという特徴があります。



8

ほとんどの鱗翅目昆虫は植食性です。ごく稀に、蟻に育ててもらうものや、肉食性のものがありますが、それらはごく少数です。



鱗翅目昆虫の99%以上が植食性で、その多くは特定のものだけ、または狭い範囲の種類だけを餌として利用します。

いろいろなもの食べることができるのはごく少数の種に限られます。



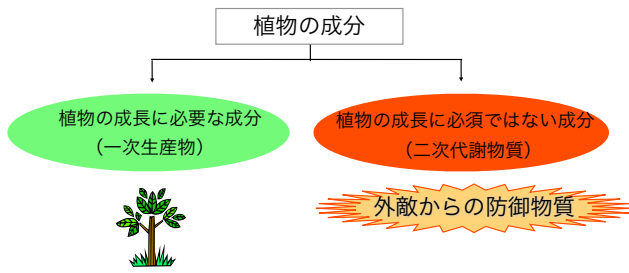
アゲハチョウ科に関しては、共通の祖先が何を食べていたのかは未解明ではあるものの、ある時に別の植物を食べる集団が現れて棲み分けが起こり、棲み分けた状態で世代を重ねたことで変化が蓄積し、やがて違う種になった、ということを何度となく繰り返して多様な種に分化していったと考えられています。現在、世界中で約500種、日本には18種のアゲハチョウが生息しています。

アゲハチョウの進化の歴史の中で、最も最近に起きた種分化がキアゲハであると考えられています。ナミアゲハと共通の祖先がミカン科からセリ科へと食草を変更したことで起きたと考えられています。

## なぜ決まった植物しか利用しないのだろうか？

### 主な要因

植物成分の代謝(解毒)能力に限界



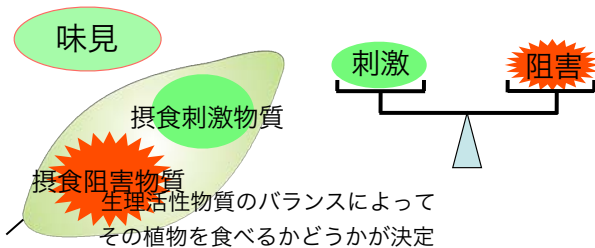
なぜ決まった植物だけを利用するのかについては、代謝（解毒）能力に限界があるからだという仮説の支持者が最も多いと思われます。植物は根がありますので、何かに食べられそうになった時に走って逃げることはできません。そこで、光合成によって多種多様な二次代謝物質を生産しており、その中に昆虫など動物にとって有害な成分が含まれています。つまり、植物は化学的に防御しているのです。

1. 植物の防御物質を克服できた昆虫が現れた場合、他の昆虫が克服できるまでの間は独占的にその植物を利用できます。
2. 移動能力の低い幼虫が、短い生涯の中で多種類の植物に接触する可能性は高くないのですが、なんでも食べられるようになるためには、使うかどうか不明な解毒機能を多数持っておかなくてはなりません。これは、昆虫たちにとっては負担が大きなことだと考えられています。決まった植物だけを食べるようになることで、用意する解毒機能を少数で済むようにできます。

という二つの理由から、決まった植物だけを食べるという選択をした方が、生存上有利であっ

## 幼虫にとって最も重要なのは 葉をかじったときに感じる味の総合評価

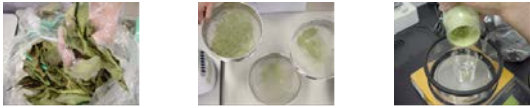
ほとんどの幼虫は、2~3回試しに葉をかじった  
後に本格的に摂食を開始



では、どのようにして植物を見分けているのかというと、味見をします。最初に少しだけかじってみて、食べられると判断したら本格的に食べ始めます。

基本的に、全ての植物に幼虫が育つために必要な成分と、食べようという気持ちになる成分が含まれています。嫌いだと感じる成分がないか、ごくわずかである場合に、幼虫はその植物を餌として食べます。（まだ論文としては未発表のデータです）

## 人工飼料で飼育



13

幼虫の接触行動の仕組みを理解することで、羊羹のような人工飼料を食べさせて、野外では観察できない季節でもすくすくと育てることが可能です。

## アゲハチョウの一生

初齢幼虫

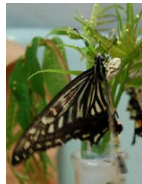


卵



産卵

職能分化



三齢幼虫



終齢幼虫



蛹



成虫

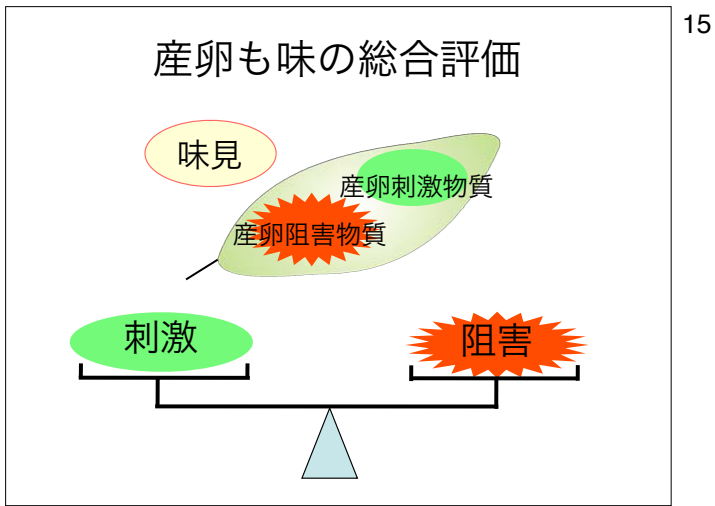
14

自然界では幼虫は植物の葉を食べますが、孵化直後の初齢幼虫は体が小さく、移動能力がとても低いので、広い環境から自力で餌を探し出すことは困難です。

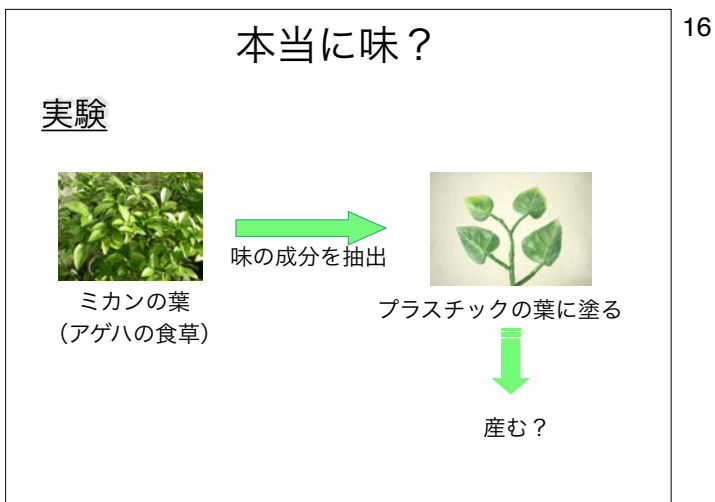
そこで、翅を持っていて、移動能力の高いメス成虫が、自分は食べないにも関わらず幼虫が食べる植物を見つけ出して、そこへ産卵するのです。

完全変態の昆虫が、蛹という特殊な状態を挟んで幼虫と成虫が全く異なる形になることを、昆虫学の用語で「職能分化」と言います。

幼虫は発育の専門家になり、成虫は繁殖の専門家になる、というように、一世代の中で完全に役割を変えているという意味です。



それでは、成虫がどのようにして植物を見分けているのかというと、これも味の総合評価です。成虫もまず味見をします。そして、産卵行動を誘導する成分（産卵刺激物質）が揃っていて、かつ、嫌だと感じる成分（産卵阻害物質・産卵忌避物質）がない場合に産卵行動が起こります。



本当に味が産卵行動の決め手なのか、実験をしてみましょう。ミカンの葉をメタノールに浸して、味の成分を取り出します。それをプラスチック製の模造葉に塗りつけます。味が決め手になっているのであれば、偽物の葉っぱに卵を産んでくれるはずです。



## 産卵実験



17

ミカン科食性のアゲハチョウの仲間に、この実験を試した結果です。シロオビアゲハ（上左）もクロアゲハ（上右）も、腹部を曲げて模造葉に産卵しています。同じ成分を紙に染み込ませてナミアゲハ（下）に触らせると、これにも産卵します。つまり、色・形・手触りとは無関係に、ミカンの葉の味を感じると産卵するということです。

18

どうやって味見をしているのか？

## 産卵行動による植物の選択 1



飛翔によって色・形・匂いを手がかりに目的の植物  
周辺にたどり着き、半ば手当たり次第に着地する

それでは、どのようにして味見をしているのか、産卵するときのアゲハチョウの行動を観察してみましょう。最初は飛びます。全ての昆虫が、飛んだ、つまり飛翔筋を使ったという経験をしないと産卵しません。飛びながら、主に視覚（眼）を使って、半ば手当たり次第に植物へと着地します。

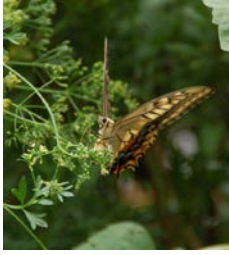
## 産卵行動による植物の選択 2



前脚で植物を連打する  
(ドラミング行動)

着地したら、6本ある脚のうち前脚2本を交互に動かして、植物の表面を叩きます。この行動は、太鼓を叩いているようだという意味で「ドラミング行動」と呼ばれています。

### 産卵行動による植物の選択 3



腹部を曲げ、先端を植物につけて  
産卵する

21

ドラミングの結果、幼虫が食べられる植物だと判断したら、腹部を曲げて先端を押し付け、卵を産みます。

### ドラミング行動



22

講演では、ドラミングして産卵する様子を動画で観察していただきました。

## 産卵行動による植物の選択 2

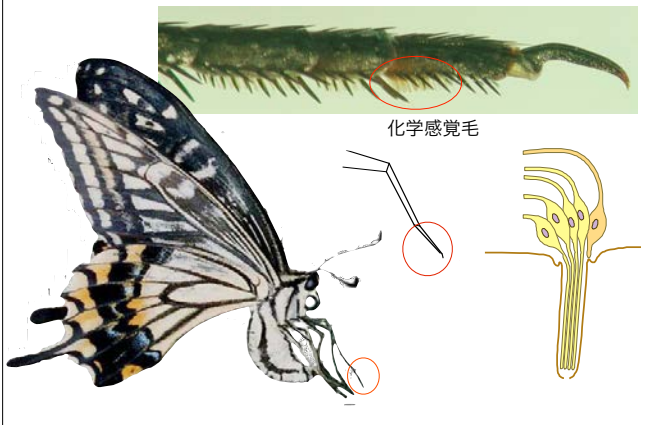


前脚で植物を連打する  
(ドラミング行動)

23

つまり、植物を叩いている前脚に何か秘密があるはずだということが解ります。

## 前脚のふ節

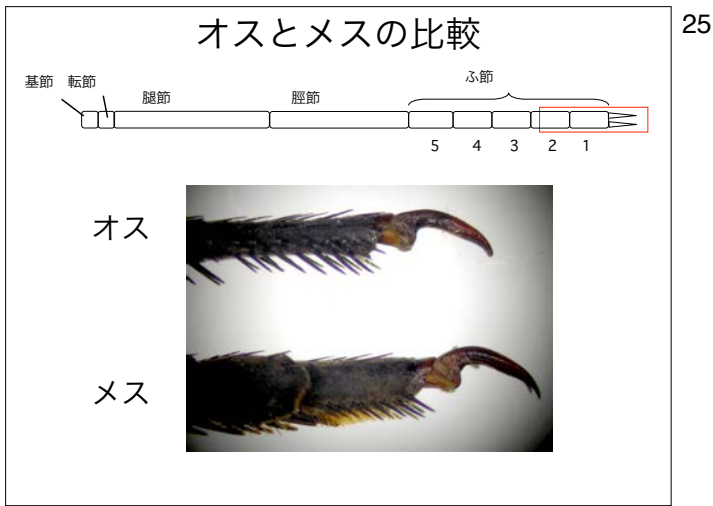


24

成虫の前脚先端部にある「ふ節」を顕微鏡で拡大すると、黒い棘の間に飴色の毛が観察されます。

この毛は化学感覚毛といって、先端に孔が一つだけあり、各毛の中に味覚神経細胞が4つずつ含まれているという、昆虫の味覚器官としての典型的な組織構造を持っています。

蝶は、前脚で味を感じることができるのです。

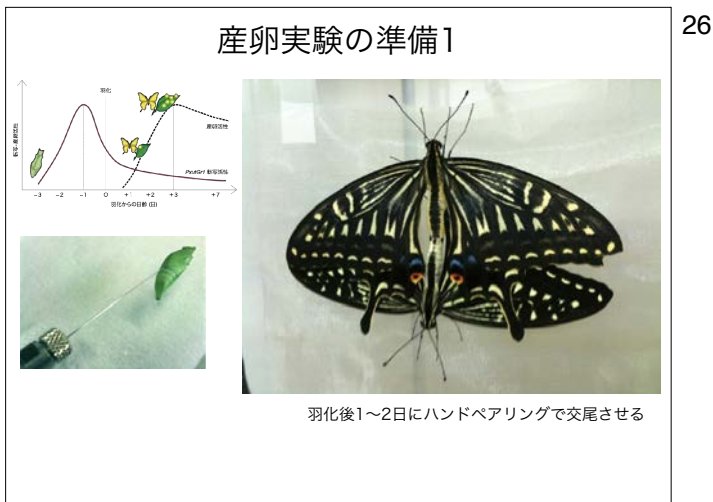


25

オスとメスで感覚毛の数を比較します。

写真はナガサキアゲハの足節です。オス（上）にも感覚毛は少数観察されますが、メス（下）の方が圧倒的に多く存在します。

これは、メスだけが使う味覚機能、つまり産卵行動の時の味見と関係するのではないかと予想されます。



26

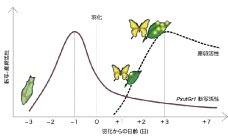
行動実験で確認してみましょう。

味を感じる機能に関わる遺伝子の働きを抑制したメス成虫を用意して、通常の蝶と同様に交尾をさます。遺伝子の働きを抑えるには、合成した二本鎖RNAを注射するだけです。

## 産卵実験の準備2

27

空腹だと産卵しないで水分を飲み始めてしまうので、まずは餌を飲ませて満腹にさせます。



産卵実験は羽化後3～5日の成虫で行う



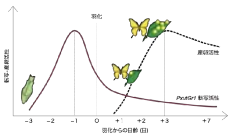
実験の1時間前に餌（ポカリスエット）を飲ませる

- ・午前よりも午後に産卵活性が高まる
- ・餌を飲ませる事で産卵活性がリセット
- ・満腹状態から約1時間後に活性化

## 産卵実験の準備3

28

満腹になると、おおよそ30分から1時間程度、翅を閉じて休みます。



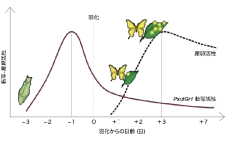
満腹状態になると、  
約30分間翅を閉じて休む



### 産卵実験の準備4

29

お腹がこなれてきたら翅を開き始めるので、2,000ルクス以上の光を当てます。  
十分な明るさを感じると、蝶は羽ばたき始めます。

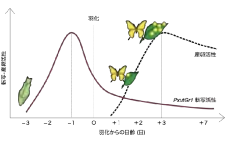


翅を開いたら強い照明を当てる  
人工照明の場合、約30分で飛翔し始める。10分程度飛翔すると、産卵活性が高まる。

### 産卵実験の準備5

30

自由に飛び回ることができる広さがある容器中に放し、産卵刺激物質の溶液を付けた模造葉を置きます。  
自分の意思で模造葉に着地して、ドラミング後に腹部を曲げたら反応した、曲げなかったら無反応と判定します。



反応



無反応

幅55cm x 奥行55cm x 高55cmの実験容器内で自由飛翔させ、人工葉を提示して産卵行動を観察する。

2,200 Lux

シネフリン+カイロイノシトール混合液に対する産卵活性  
(ノーマル)

31



腹部を曲げる行動に注目

講演では、通常の蝶が産卵する様子を  
動画で観察していただきました。

シネフリン+カイロイノシトール混合液に対する産卵活性  
(RNAi)

32



ドラミングはするが、腹部を曲げない行動に注目

味覚受容体遺伝子の働きを抑制した蝶  
は、ドラミングをしても腹部を曲げな  
い様子を動画で観察していただきまし  
た。



チョウは前脚で味見して卵を産む

33



蝶は前脚で味見をして、幼虫の食草か否かを判断しているのです。

“味”とは？

34

# 化学感覚

陸上生活をする動物の場合...

味: 不揮発性（水溶性・脂溶性）の化合物を認識すること

匂い: 空気中を漂う揮発性の化合物を認識すること



觸角  
嗅覚器官



脚・口器など  
味覚器官



豆知識です。

味覚も嗅覚も、体の外にある化合物を認識する「化学感覚」ですが、陸棲動物の場合

- ・ 不揮発性の化合物を、感覚組織が発生源に触れて認識する化学感覚を「味覚」
- ・ 空気中を漂う揮発性化合物を、感覚組織が発生源に触れずに認識する化学感覚を「嗅覚」と分類します。

昆虫の場合、嗅覚は触角のみで感知しますが、味覚は脚・口器・翅など、様々な場所で感じるすることができます。