

# 昆虫にみる生命力 — 環境に適応する力 —

新領域創成科学研究科

教授

藤原 晴彦



第107回東京大学公開講座「力(チカラ)」  
平成19年10月13日 東京大学安田講堂

※: このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。引用情報のない図版は、講演者の有する著作物の中から引用されたものです。

# 自己紹介

昭和32年 神戸市に生まれる

幼少～少年時代:「虫屋」ではなく、犬好き

昭和52年～昭和61年 駒場一本郷(浅野)一駒場キャンパス

東大・理学系研究科・生物化学専攻・理学博士  
リボソームDNA・rRNAの分子生物学者

昭和61年～平成元年 国立予防衛生研(現感染症研)

カイコを用いた擬態の研究の開始

平成元年～平成10年 本郷キャンパス 東大・理・動物

変態・テロメア・利己的遺伝子などの研究

平成10年～現在 柏キャンパス 東大・新領域・先端生命

擬態・変態・染色体の研究グループを主宰

# 1. 生命にとっての環境適応力

# 生命力(生命)とは何か？

生命力 項目なし

生命

- ① いのち。寿命
- ② 生物を生存させている根本的な力
- ③ 物事を成立・維持させている原動力
- ④ 物事の最も大切な部分

(新小辞林第2版:三省堂)

生命

生物の本質的属性として抽象されるもの。  
生物の本質的属性とは、**個体及び種を保存しながら、長い間に環境との関係において進化し、しかもそのために実に合目的に**できているということである。

(生物学辞典第2版:岩波書店)

# 環境の影響は生物の種類によって異なる

- ・細菌と昆虫と恐竜では全く異なる環境の影響を被るだろう
- ・昆虫は小さく、変温動物である

## 1. 非生物学的要因（温度、光、大気、湿度、気圧など）

| 気候    | 水平方向     | 垂直方向     |        |
|-------|----------|----------|--------|
| 超微小気候 | 1cm 以下   | 1cm以下    | 超微小空間  |
| 微気候   | 1cm~100m | 1cm~2m   | 小空間    |
| 中・大気候 | 1km~1万km | 1m~200km | 都市・気候帯 |

- ## 2. 生物学的要因
- 種内関係(社会関係)
  - 種間関係(捕食関係) 昆虫のサイズ
  - 人間活動の影響

# 昆虫は小さいが、多様なサイズの生物群

|        |             |          |
|--------|-------------|----------|
| 大型の昆虫： | 大型古代トンボ     | 開帳70cm   |
|        | ナナフシの一種     | 体長50cm   |
| 小型の昆虫： | クロムクゲキノコムシ  | 体長0.38mm |
|        | ズイムシアカタマゴバチ | 体長0.5mm  |

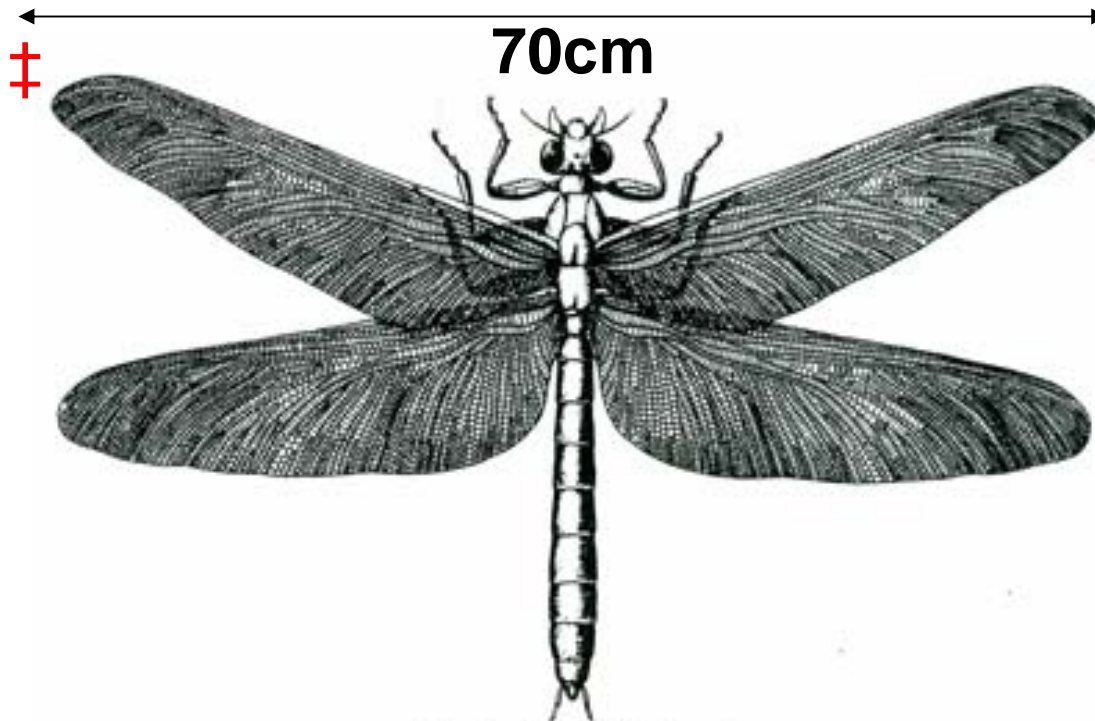


図1-16 大型古代トンボ

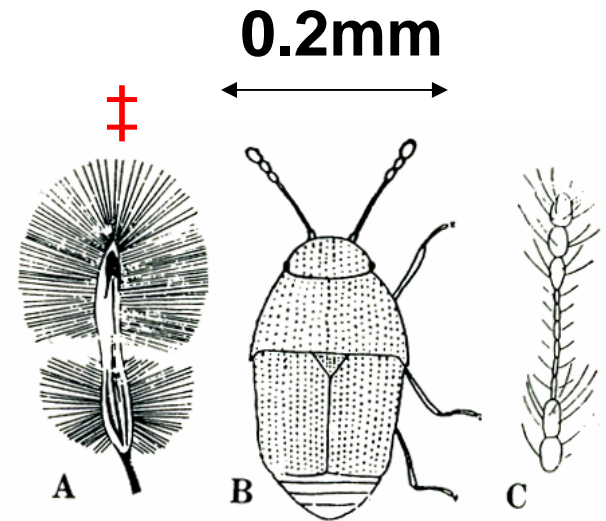


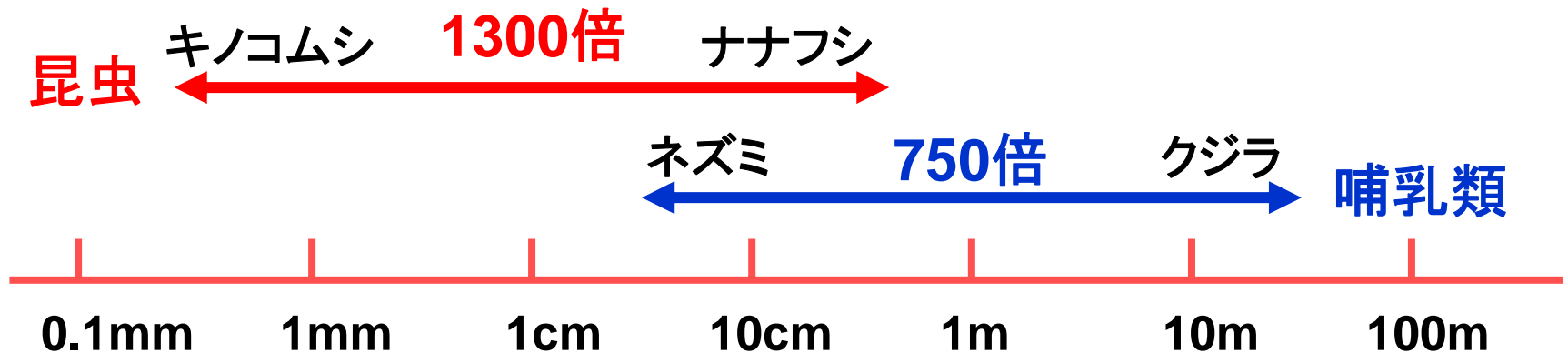
図1-18 微小昆虫クロムクゲキノコムシ  
体長0.38mm. A：後翅，B：成虫，C：触角。  
(矢後，1925より)

# 昆虫は小さいが、多様なサイズの生物群

|        |             |          |
|--------|-------------|----------|
| 大型の昆虫: | 大型古代トンボ     | 開帳70cm   |
|        | ナナフシの一種     | 体長50cm   |
| 小型の昆虫: | クロムクゲキノコムシ  | 体長0.38mm |
|        | ズイムシアカタマゴバチ | 体長0.5mm  |

|          |              |                |
|----------|--------------|----------------|
| 最小の哺乳類:  | ジャコウネズミ      | 体長3.8cm、体重2.5g |
| 最大の原生動物: | P. palustris | 直径2mm以上        |

「昆虫最大の種は最小の哺乳類より大きく、最小の種は最大の原生動物よりも小さい」



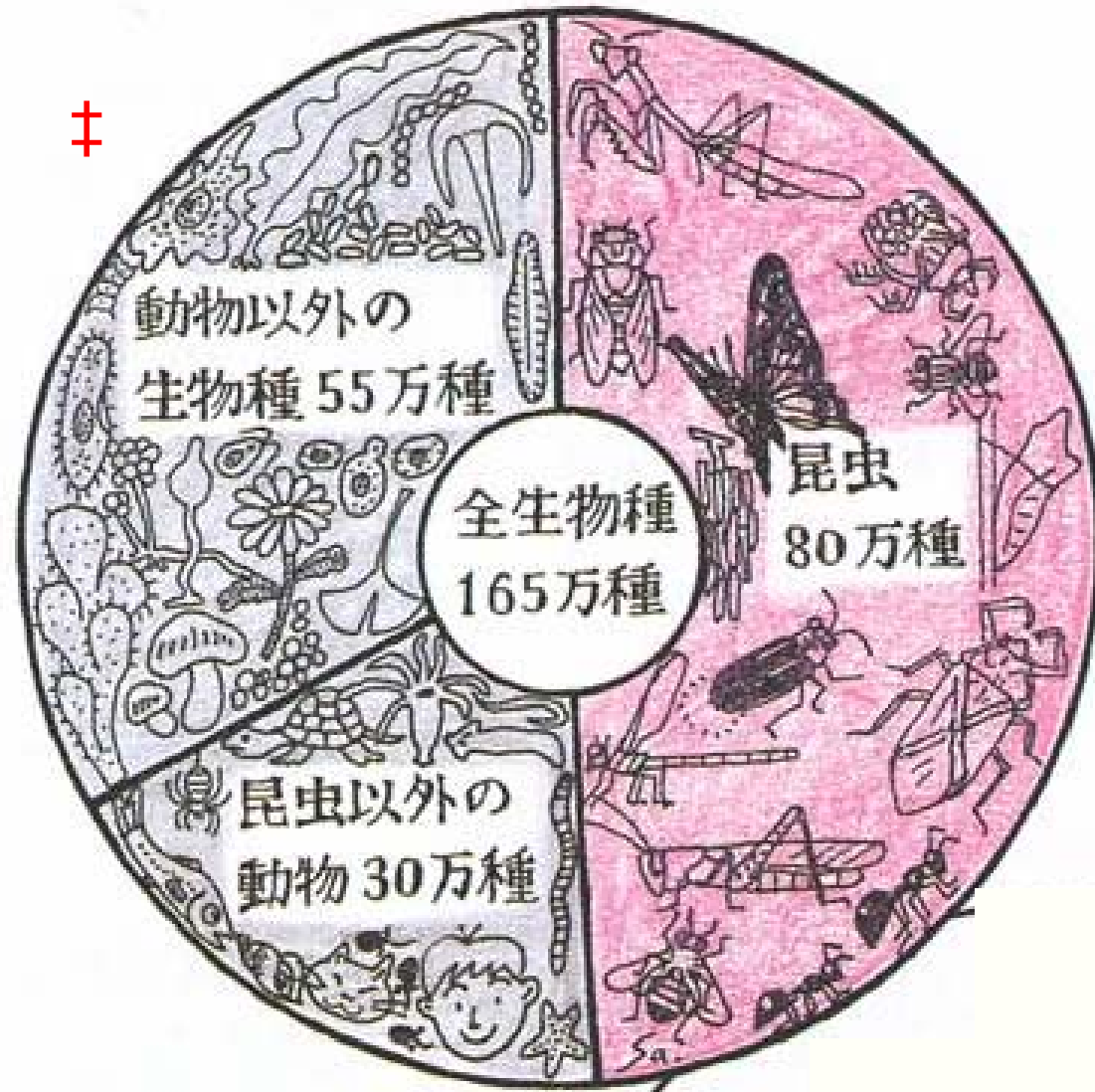
## 2. 昆虫が繁栄する理由

=優れた環境適応力



# 生物種の半分は昆虫である

+



## 昆虫の特徴

サイズ: 小空間でニッチ

硬い表皮: 耐乾燥

翅: 空中でのニッチ

膨大な種数

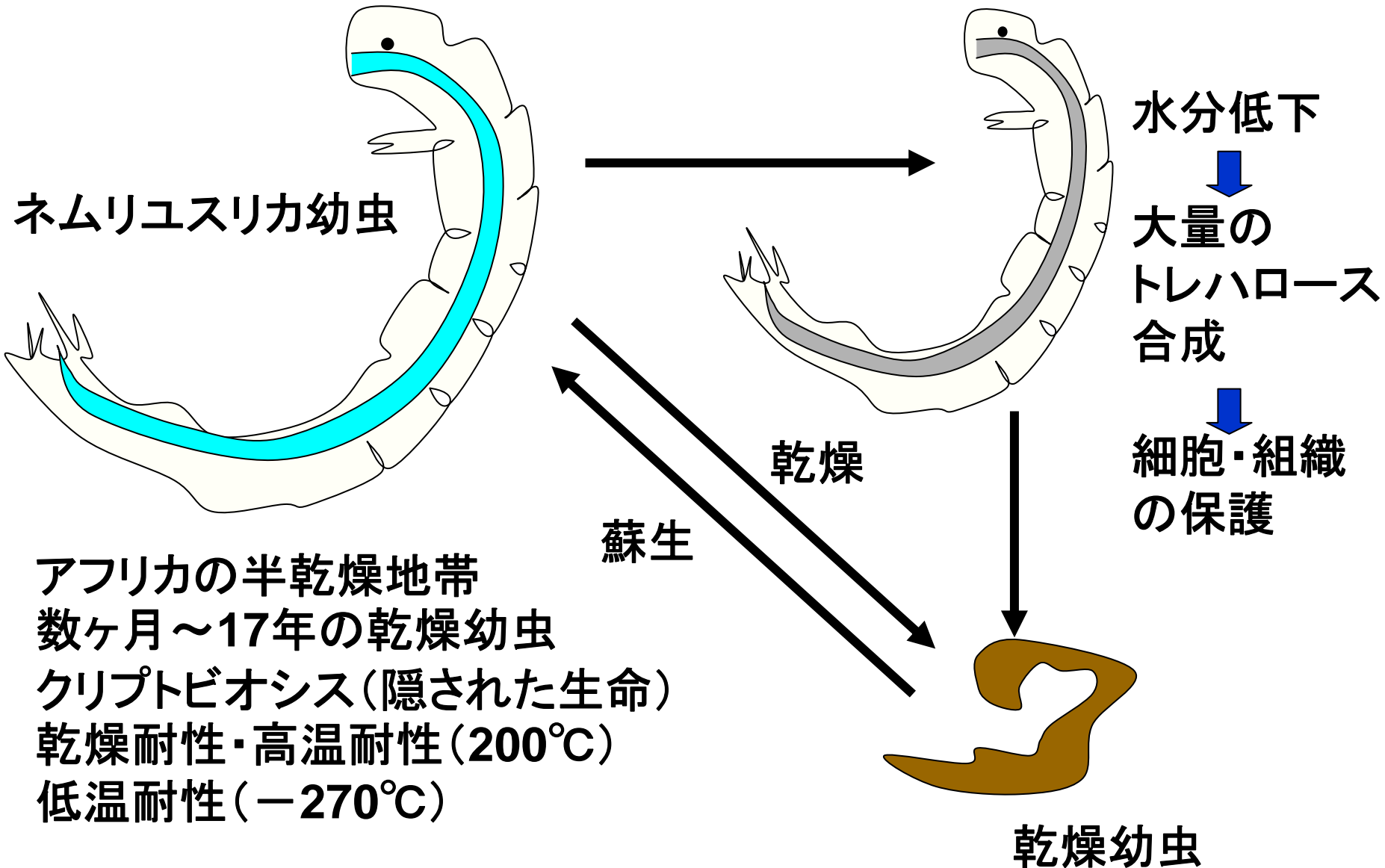


圧倒的な遺伝的多様性



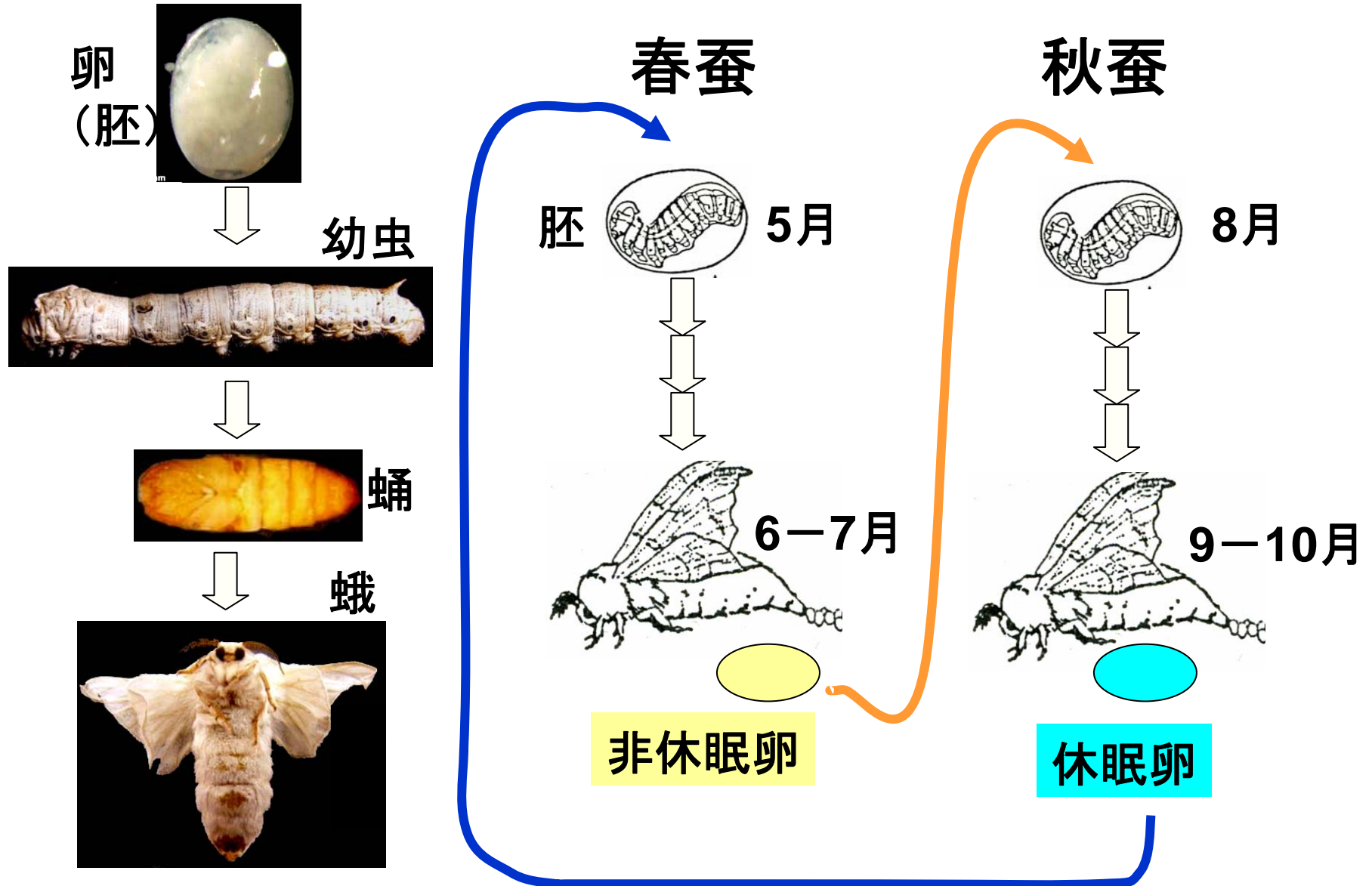
あらゆる環境に対して適応

# 昆虫の環境適応 (I) 類稀なる乾燥耐性



農業生物資源研グループの研究

# 昆虫の環境適応(II) カイコの巧みな休眠戦略



# カイコの休眠は冬の到来を予知して夏に決定される

春蚕

非休眠卵

秋蚕

脳

胚

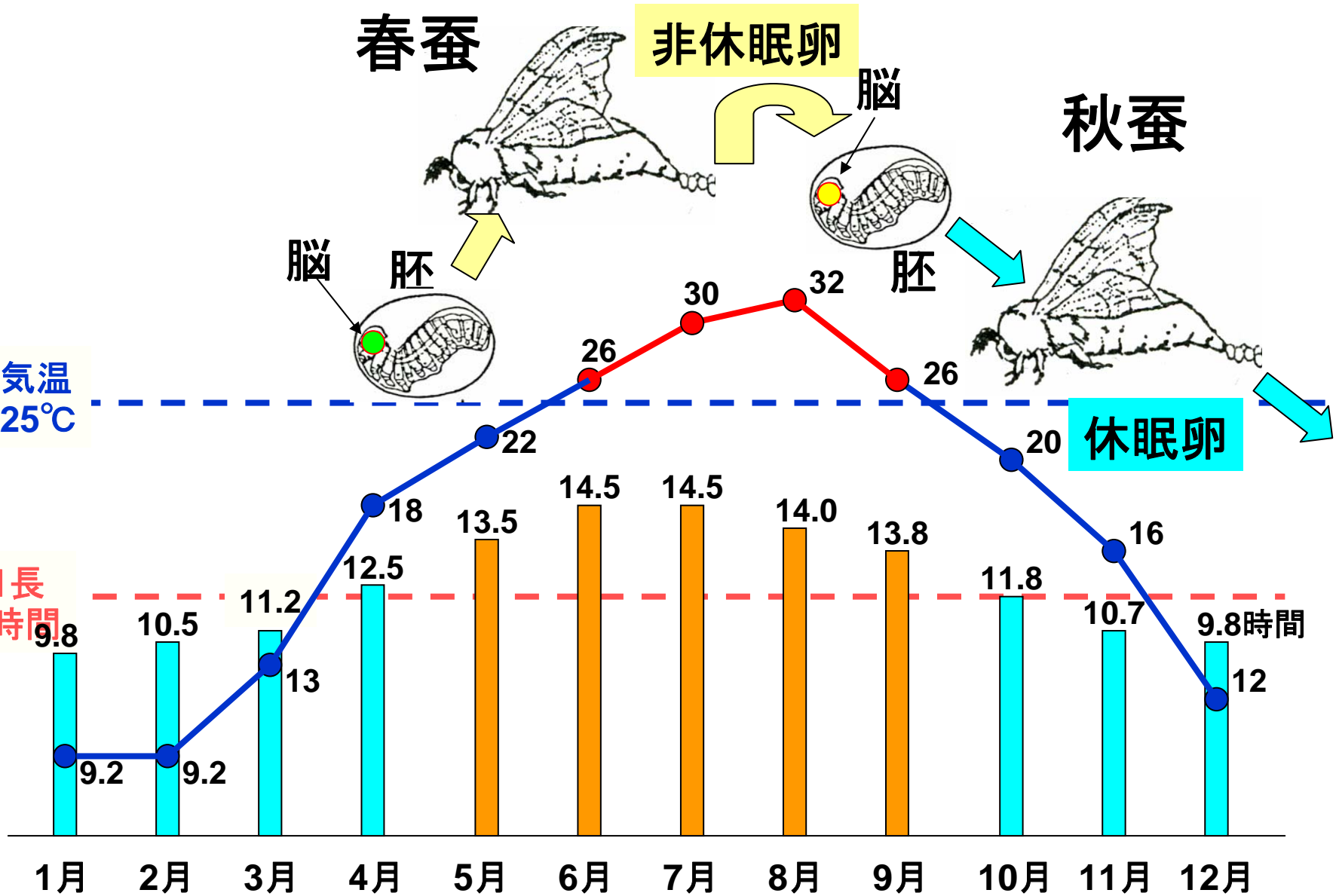
脳

胚

休眠卵

気温  
25°C

日長  
12時間



東京の平均日長と平均気温

# 3. 翅と変態の進化論

最初の人類(900万年)

ペルム期

恐竜の出現  
哺乳類出現

爬虫類出現

石炭期

デボン期

両生類出現

シルル期

億年前  
2.8

完全変態

翅の重  
ね合せ

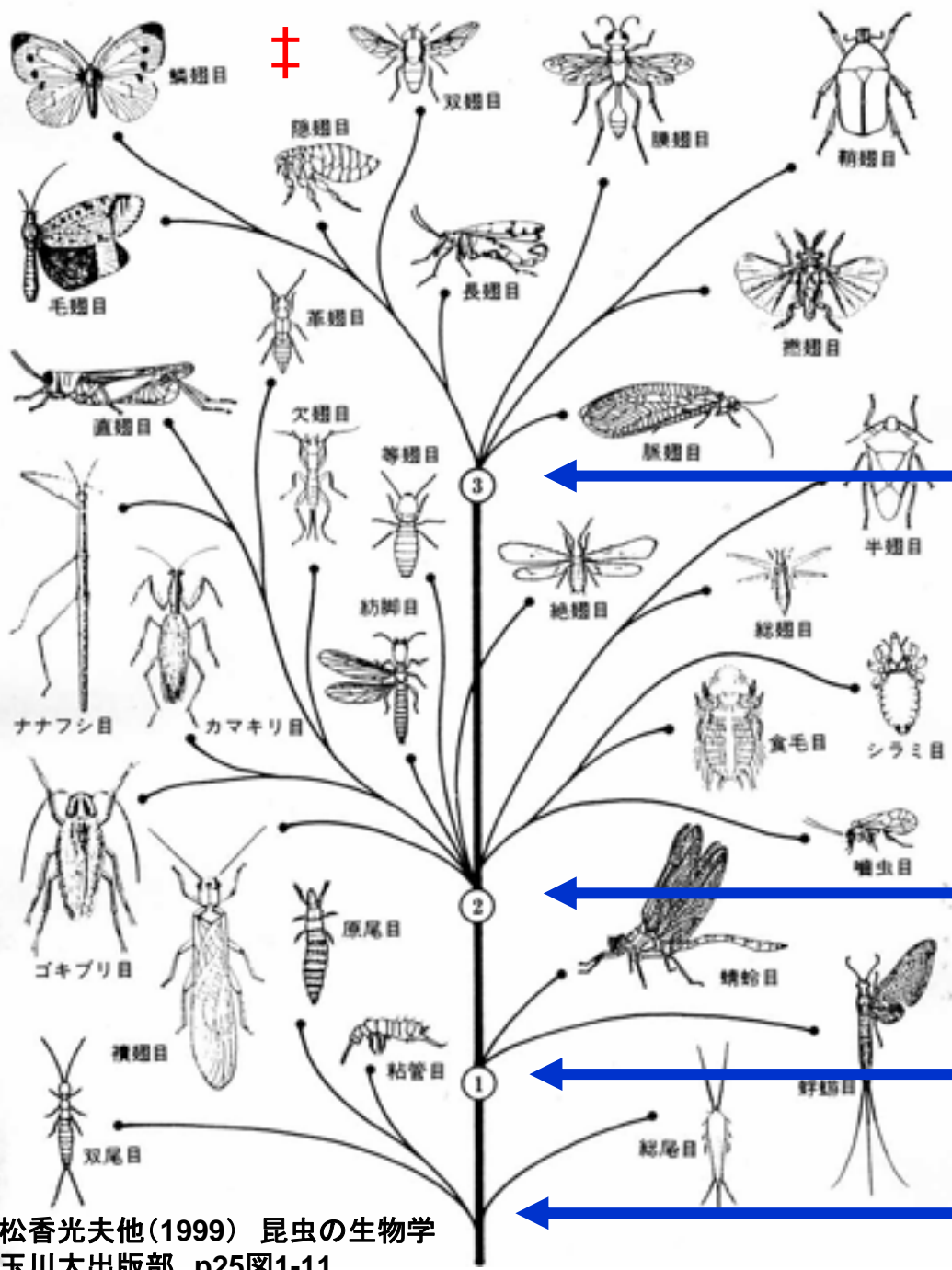
3.6

翅の形成

昆虫  
の出現

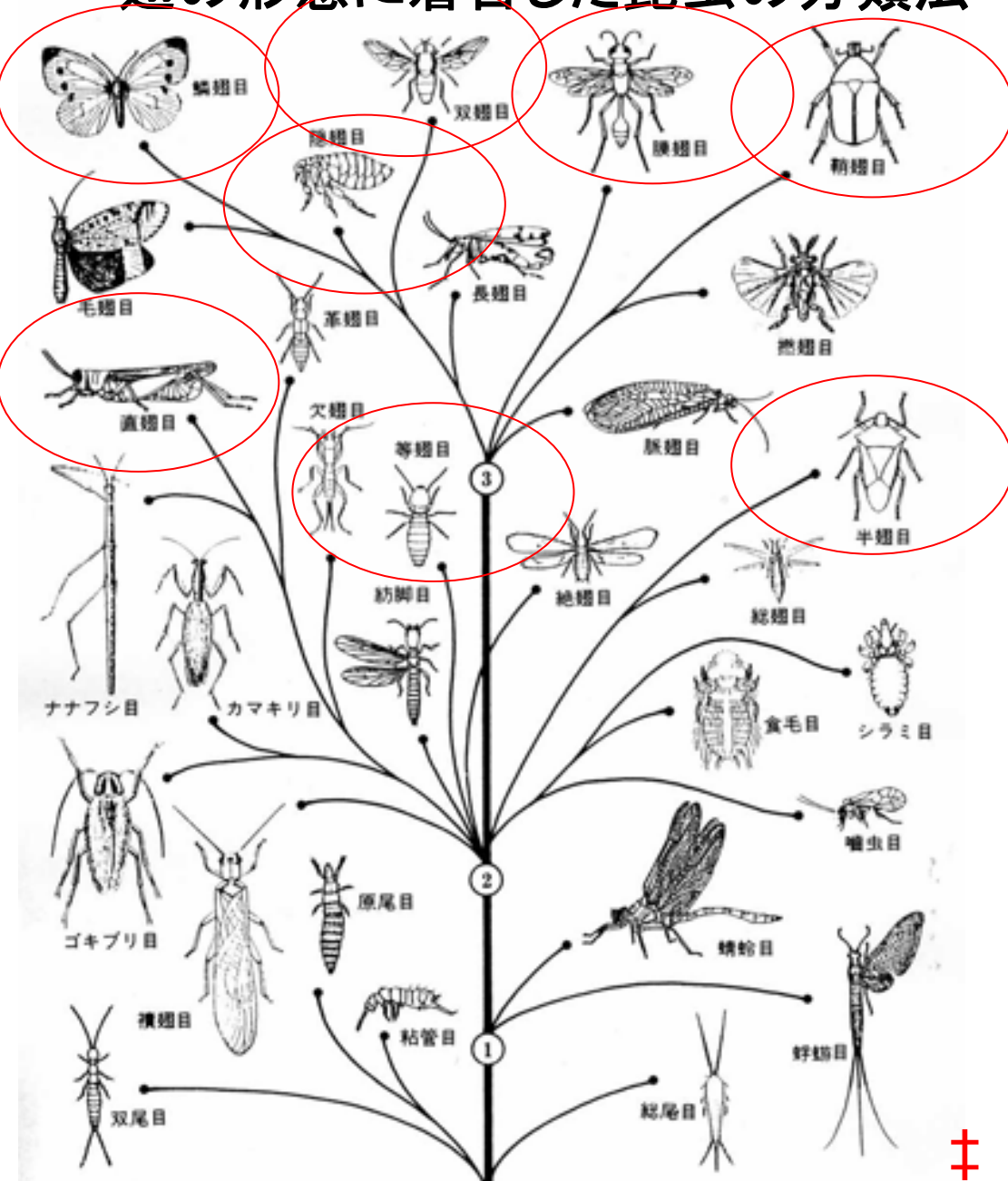
4.1

4.4



松香光夫他(1999) 昆虫の生物学  
玉川大出版部 p25図1-11

# 翅の形態に着目した昆虫の分類法 (アリストテレスの時代から)

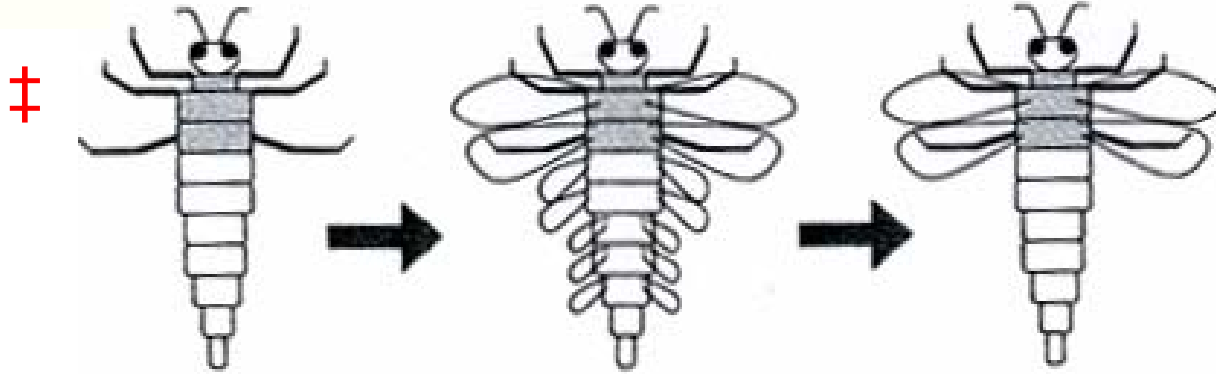


- 双翅目 ハエ・カ
- 鱗翅目 チョウ・ガ
- 膜翅目 ハチ・アリ
- 鞘翅目 甲虫
- 等翅目 シロアリ
- 直翅目 バッタ・コオロギ
- 半翅目 セミ・カメムシ
- 隠翅目 ノミ





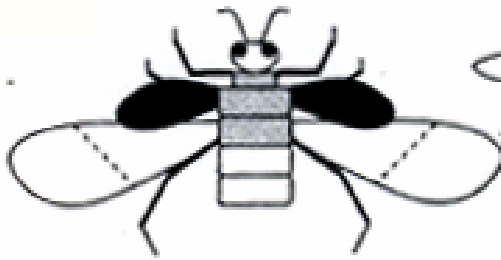
# 翅の出現と進化



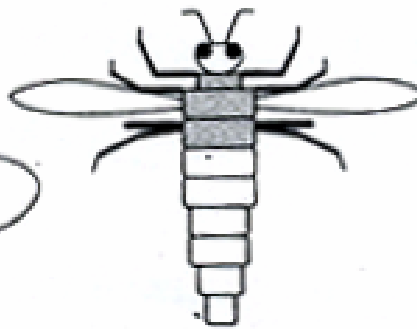
翅のない  
原始的な昆虫

多数の翅のある  
昆虫化石

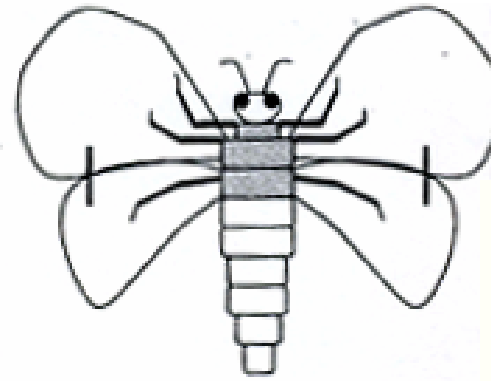
4枚の翅の昆虫



しょうしむく  
鞘翅目



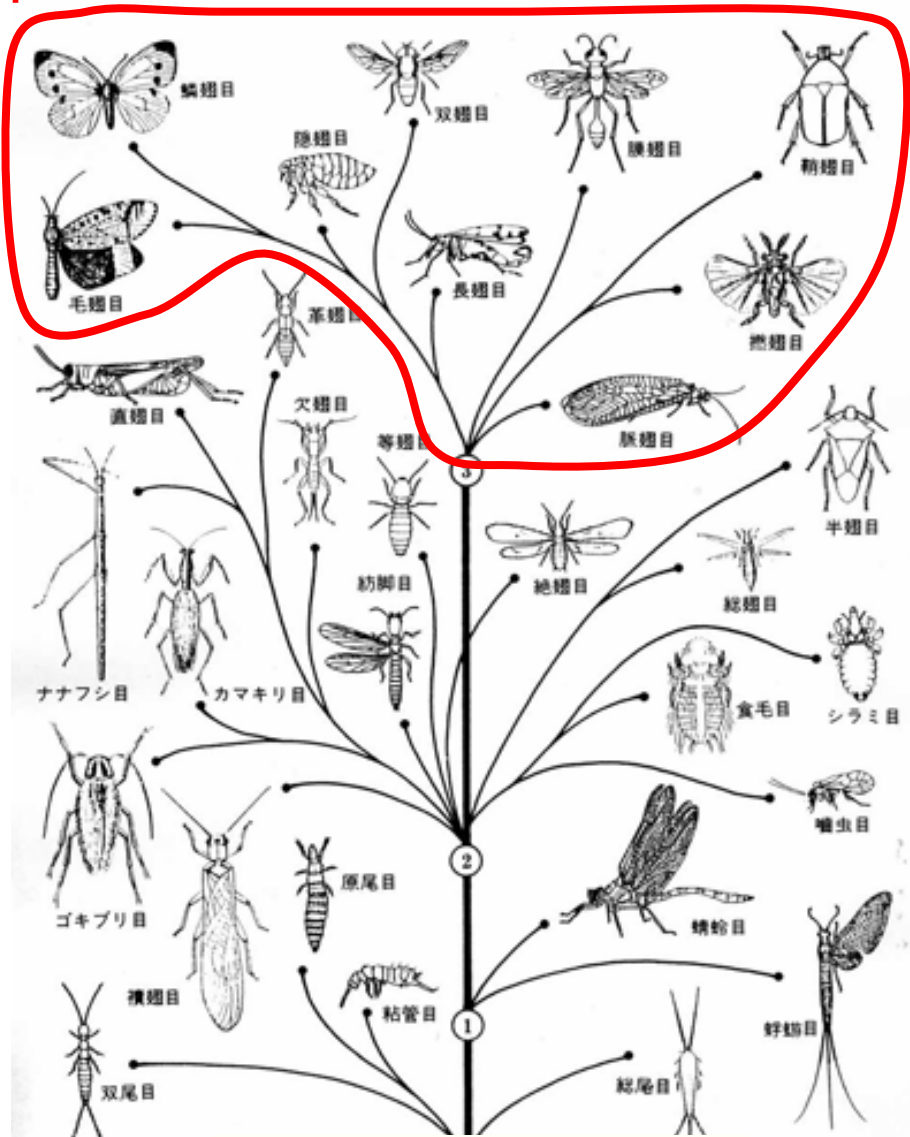
そうしむく  
双翅目



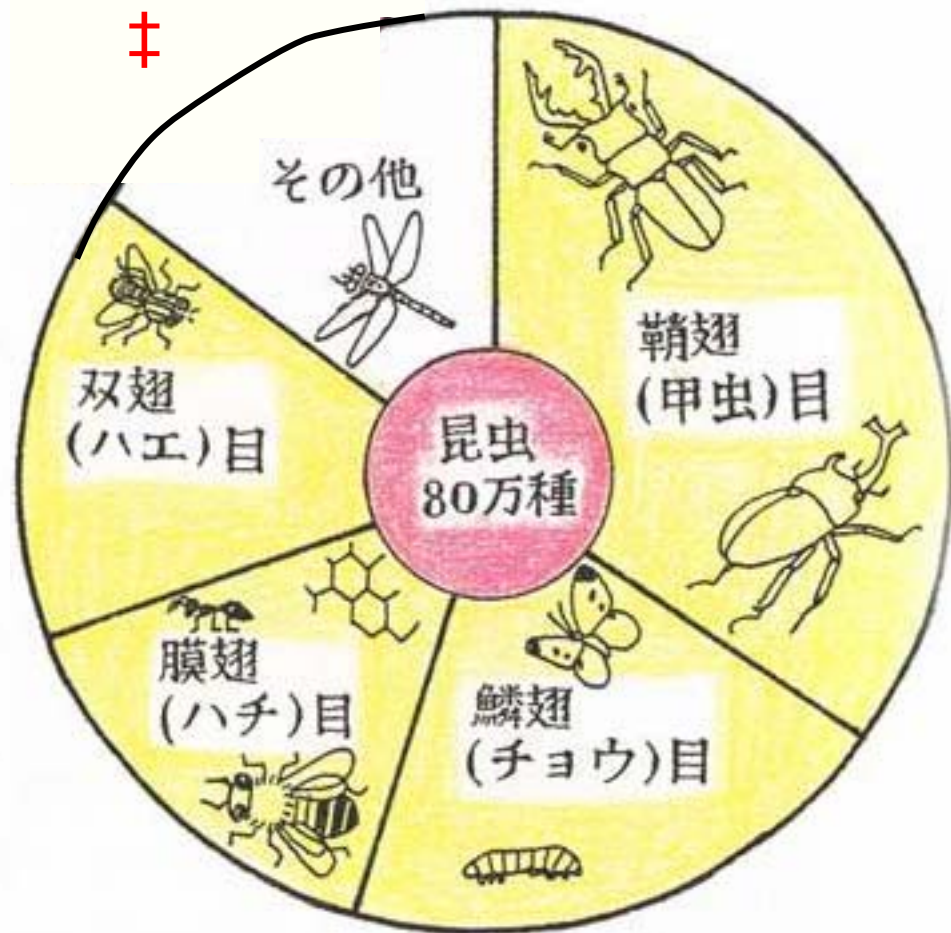
りんしむく  
鱗翅目



# 完全変態昆虫は昆虫の8割以上を占める

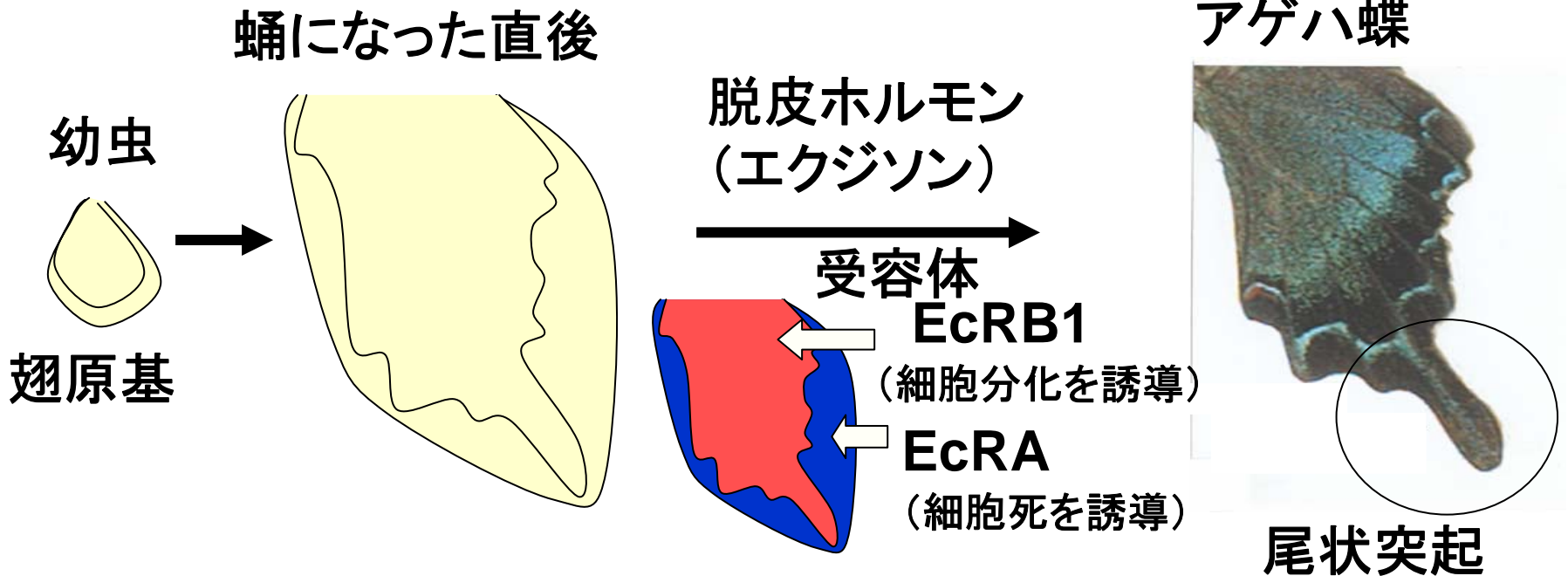
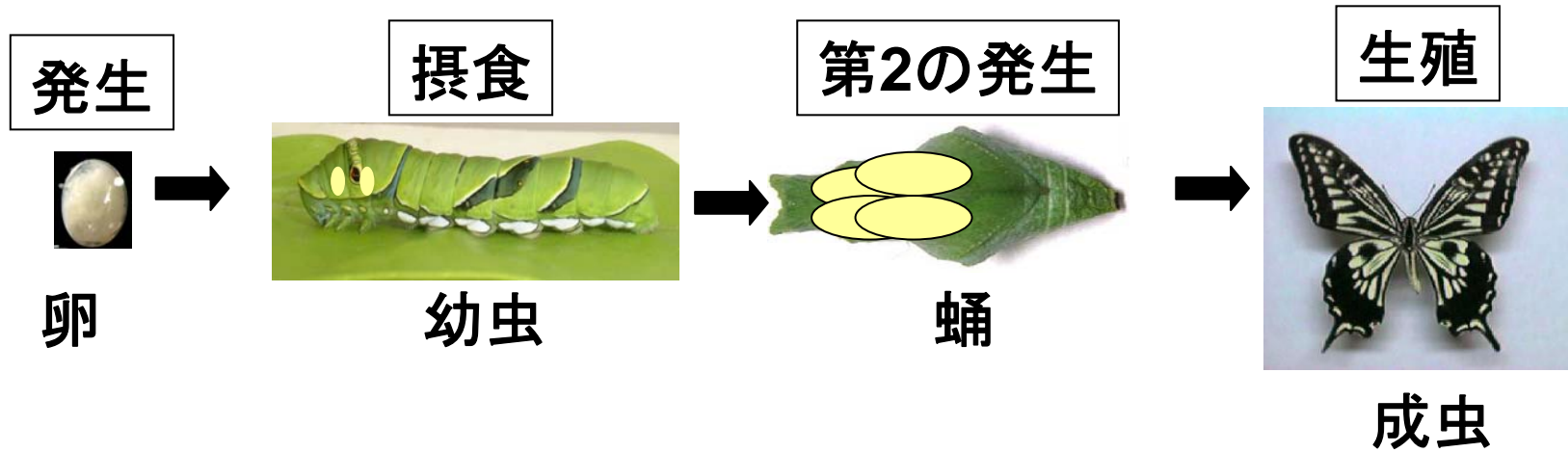


松香光夫他(1999) 昆虫の生物学  
玉川大出版部 p25図1-11

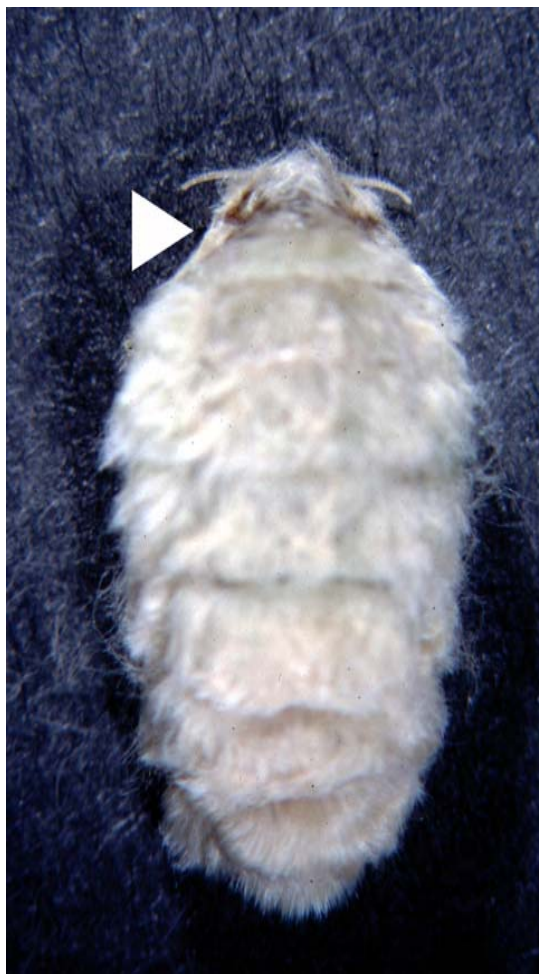


藤原晴彦(2000)ミクロスコピア、17、254 図1

# 完全変態のメリット一翅の作り方



# アカモンドクガ (*Orgyia recens*)



雌



雄



# 4. 情報戦略としての擬態



「似せてだます擬態の不思議な世界」藤原晴彦(2007)化学同人

# ペッカム型擬態(攻撃型擬態)



ハナカマキリ: 撮影者 海野和男

「似せてだます擬態の不思議な世界」  
藤原晴彦(2007)化学同人 口絵①



# ベイツ型擬態



アリゲモ: 川邊透

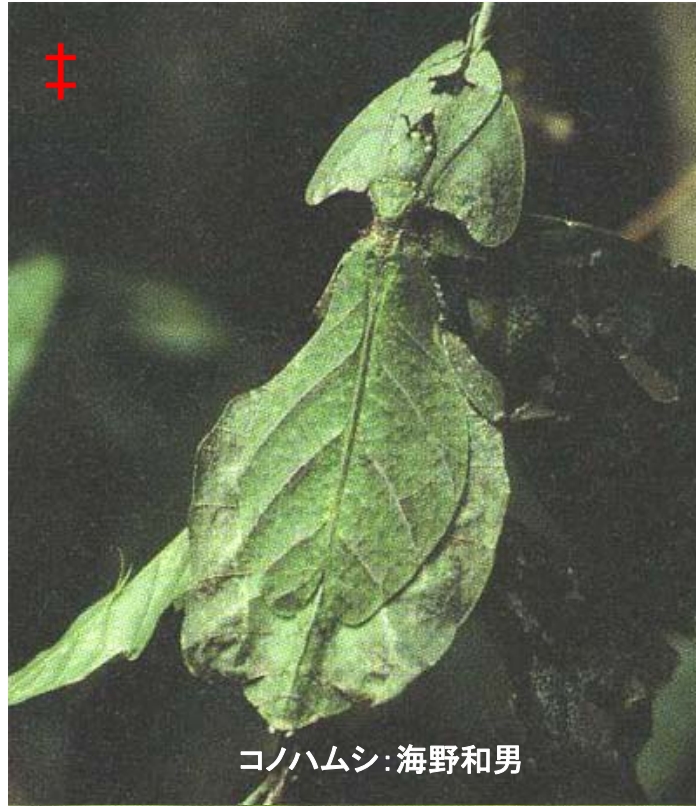
「似せてだます  
擬態の不思議な世界」  
藤原晴彦(2007)  
化学同人  
口絵③、④



ハナアブ: Wisdom96



# 隠蔽型擬態 (カムフラージュ)



「似せてだます  
擬態の不思議な世界」  
藤原晴彦(2007)  
化学同人  
口絵②、⑤、⑥、⑦



# 隠蔽型擬態 (カムフラージュ)



「似せてだます  
擬態の不思議な世界」  
藤原晴彦(2007)  
化学同人 口絵⑧、⑨、⑩

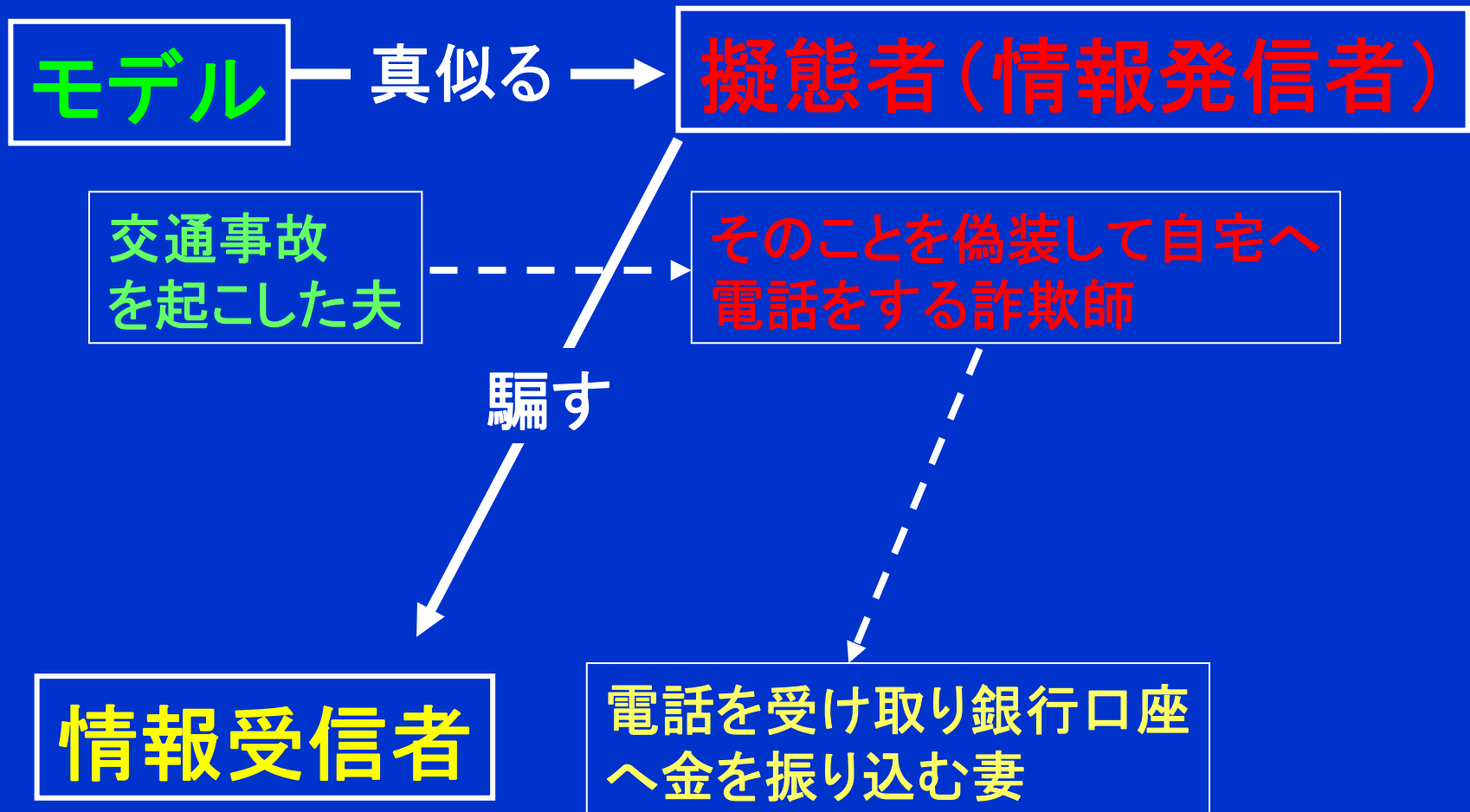




## カイコの原生種 クワコの枝型擬態

「似せてだます擬態の不思議な世界」  
藤原晴彦(2007)化学同人 p104, 図4-2

# 擬態は生物間相互作用を基に機能している



# 擬態は生物間相互作用を基に機能している

真似る

モデル

擬態者(情報発信者)

騙す

鳥の糞  
柑橘類の葉

ベニモンアゲハ  
(有毒の蝶)



アゲハの若齢幼虫  
(標識型擬態)



アゲハの終齢幼虫  
(隠蔽型擬態)



情報受信者



アゲハ♀  
(標識型擬態)

鳥や小動物などの捕食者



# アゲハの幼虫を研究対象とするメリット

3齢

4齢

5齢(終齢)

幼虫



4齢幼虫



5齢幼虫



ナミアゲハ  
*P.xuthus*



キアゲハ  
*P.machaon*



# アゲハの幼虫を研究対象とするメリット

3齢

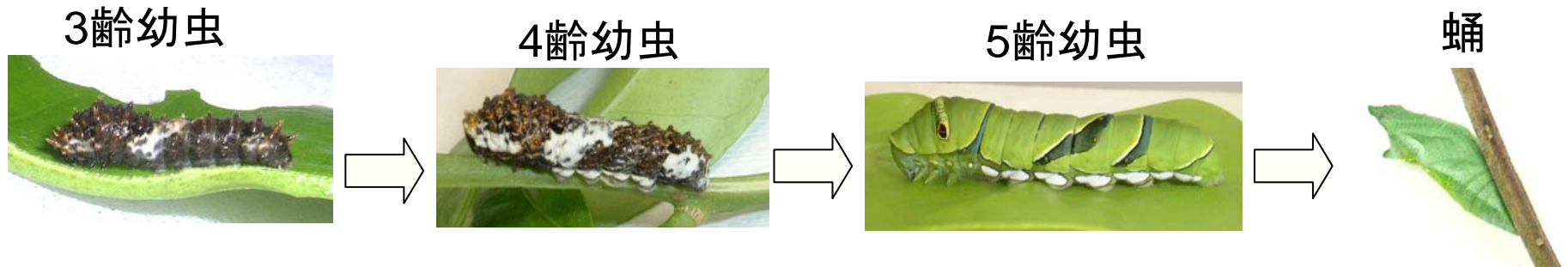
4齢

5齢(終齢)

幼虫



# アゲハの脱皮と昆虫ホルモンの関係の模式図



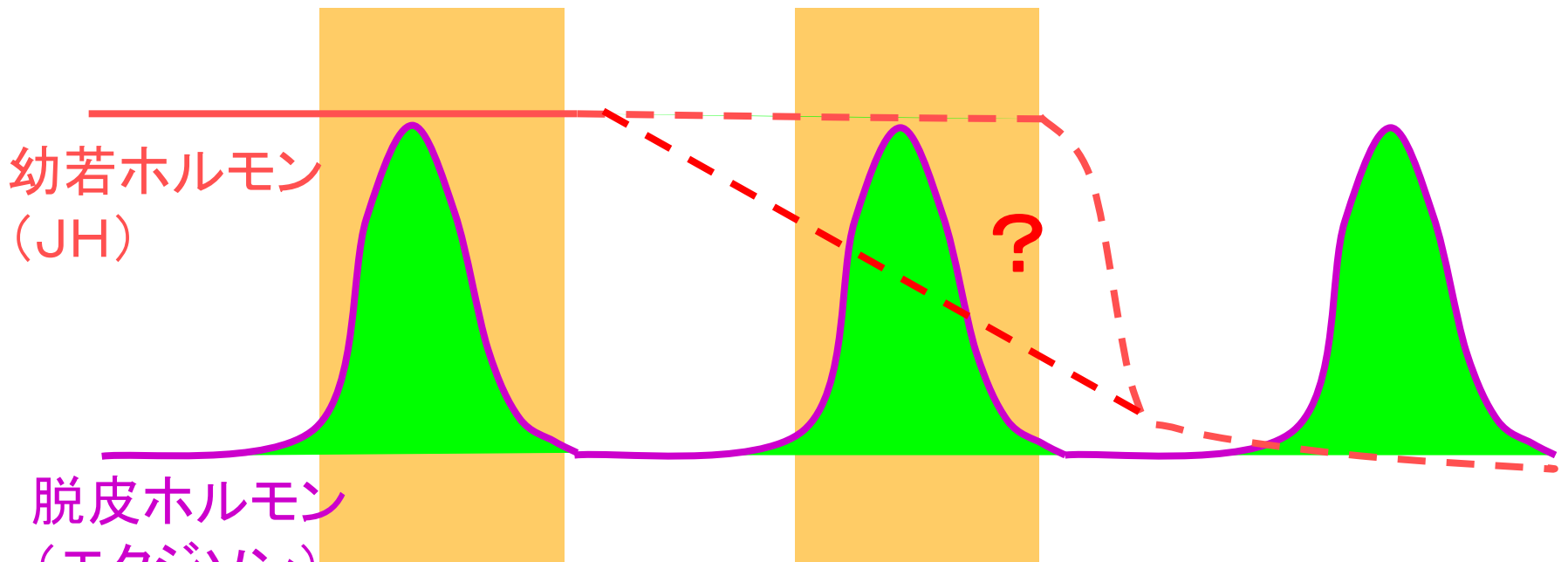
3回目の脱皮

4回目の脱皮

蛹への脱皮

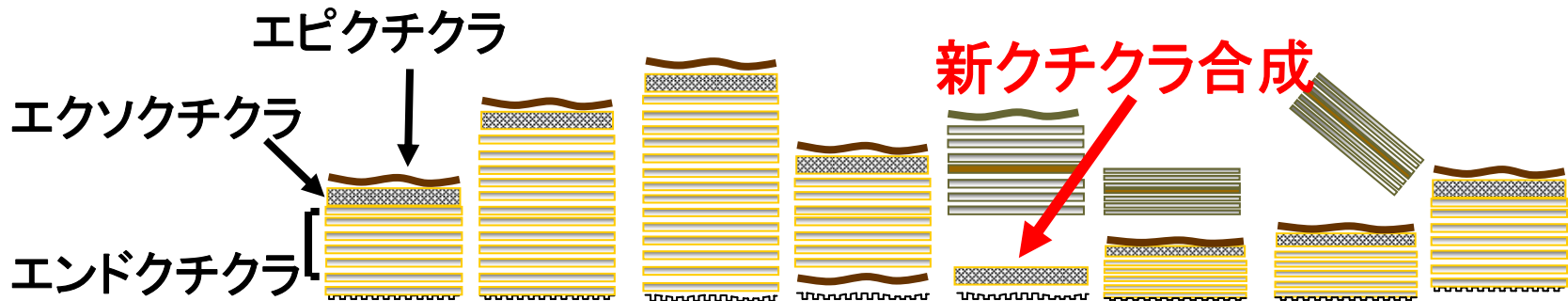
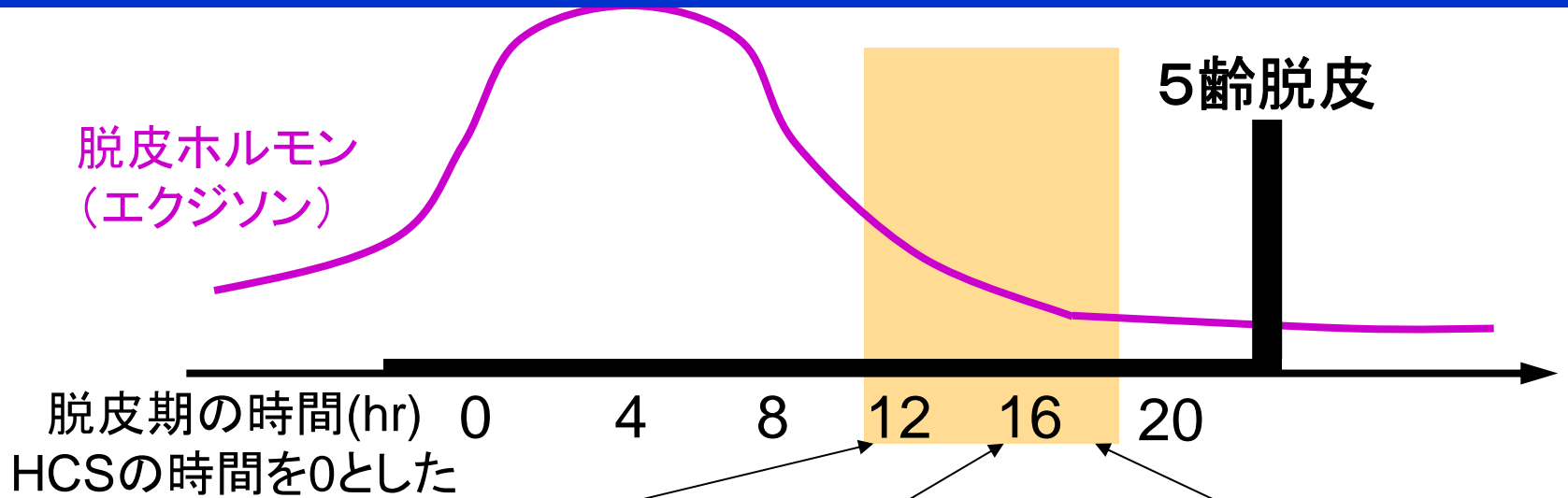
幼若ホルモン  
(JH)

脱皮ホルモン  
(エクジソン)





# 脱皮期 (molting stage) 後期に紋様は形成される



# エクジソンの早めの投与により5齢幼虫の紋様を変化させる

5齢幼虫



5齢幼虫



5齢幼虫



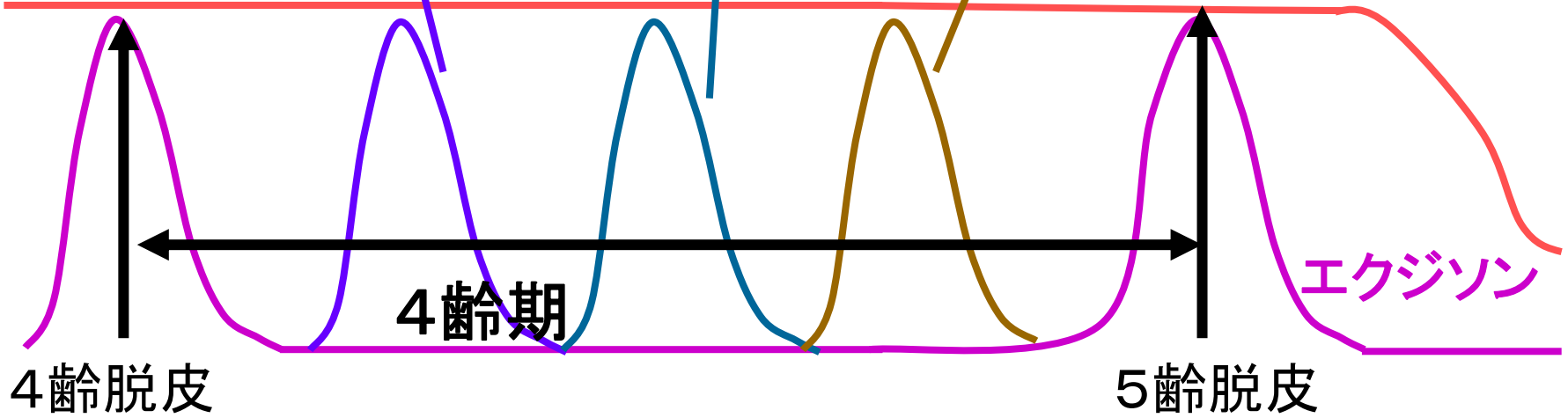
本来の4齢幼虫



本来の5齢幼虫



幼若ホルモン



4齢期

エクジソン

4齢脱皮

5齢脱皮



# 幼若ホルモン(JH)を投与すると 5齢幼虫の紋様が4齢型に変化する

JHの濃度が5齢幼虫の紋様の  
パターンを決定している可能性が高い

4齢幼虫



JH投与5齢幼虫

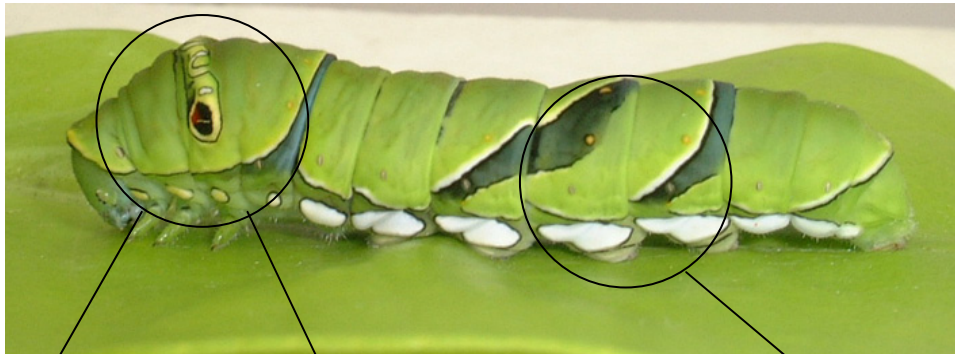


本来の5齢幼虫

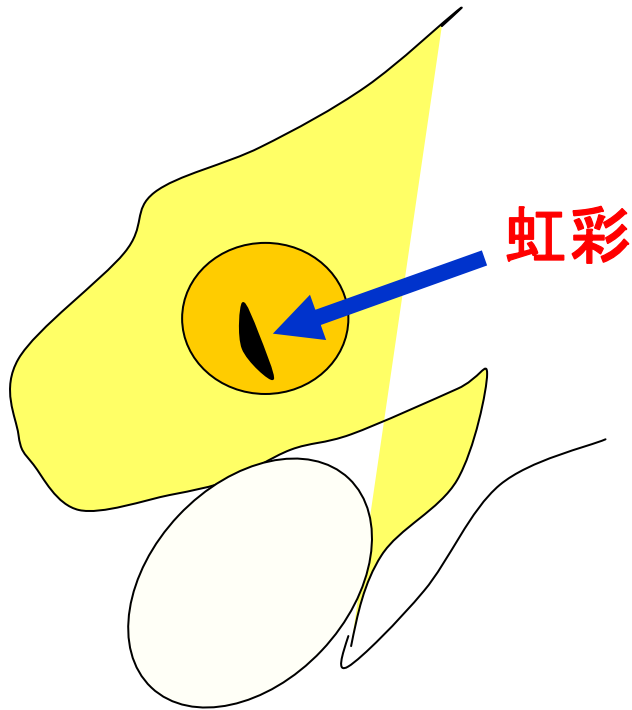


幼若ホルモン





# アゲハの目玉模様は蛇の目？



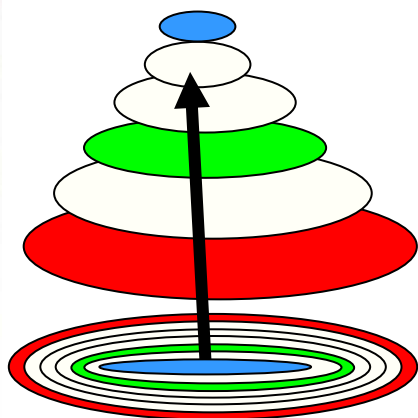
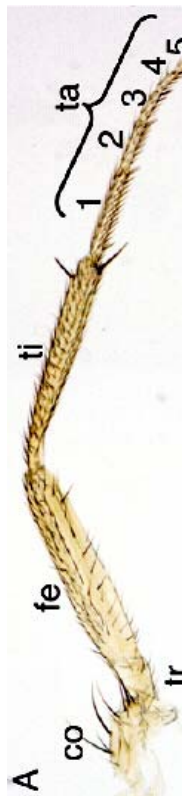
蛇の目



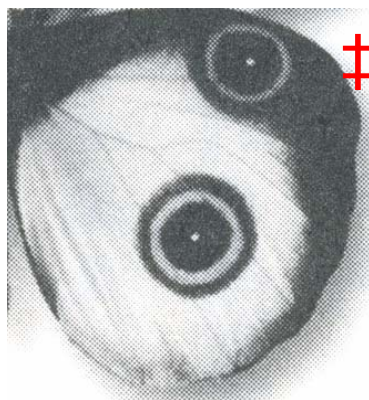
アゲハ幼虫の目玉模様

# 昆虫の肢形成と蝶の翅の目玉模様

昆虫の肢を作る遺伝子 *distal-less* は、蝶の翅の目玉模様も作る

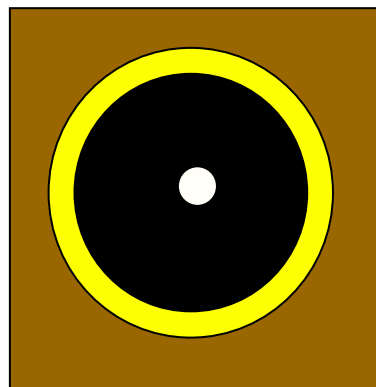


昆虫の肢  
を作る模式図

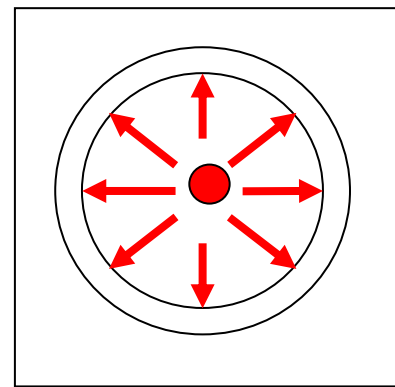


チョウの翅の  
目玉模様

「似せてだます擬態の  
不思議な世界」藤原晴彦  
(2007)化学同人 p49, 図2-3

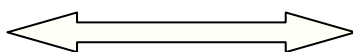


目玉模様の  
模式図

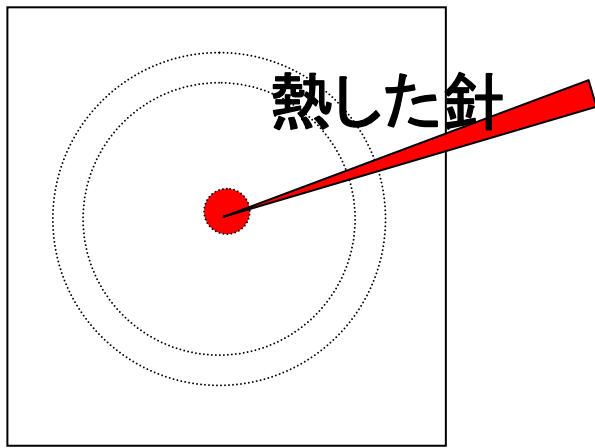


*Distal-less*  
タンパク質の  
発現は広がる

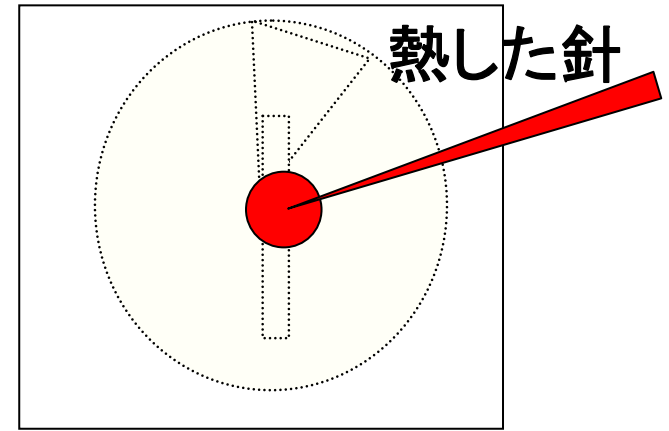
3次元での形作り



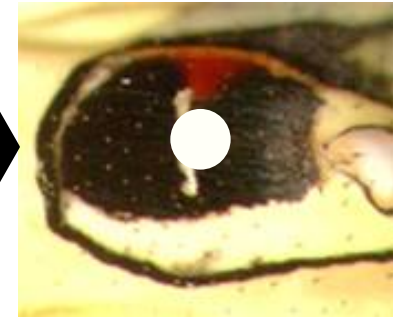
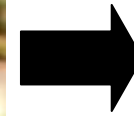
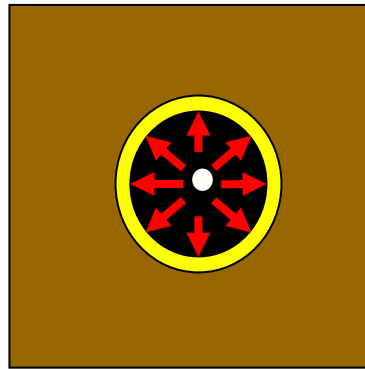
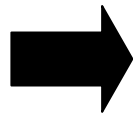
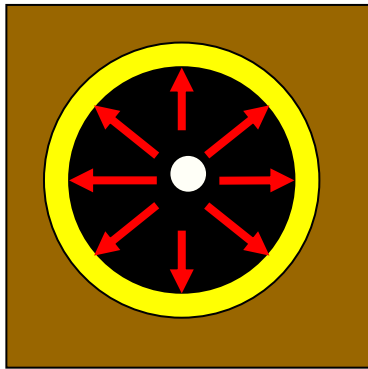
2次元での形作り



中心部を焼却する

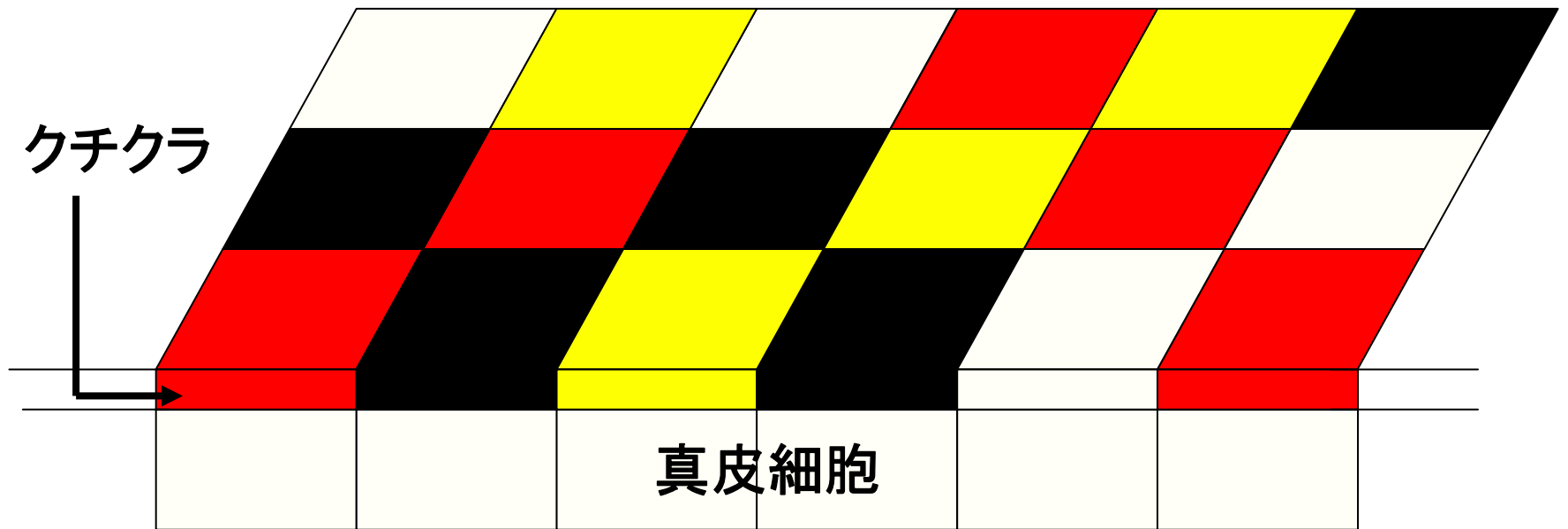


中心部を焼却する

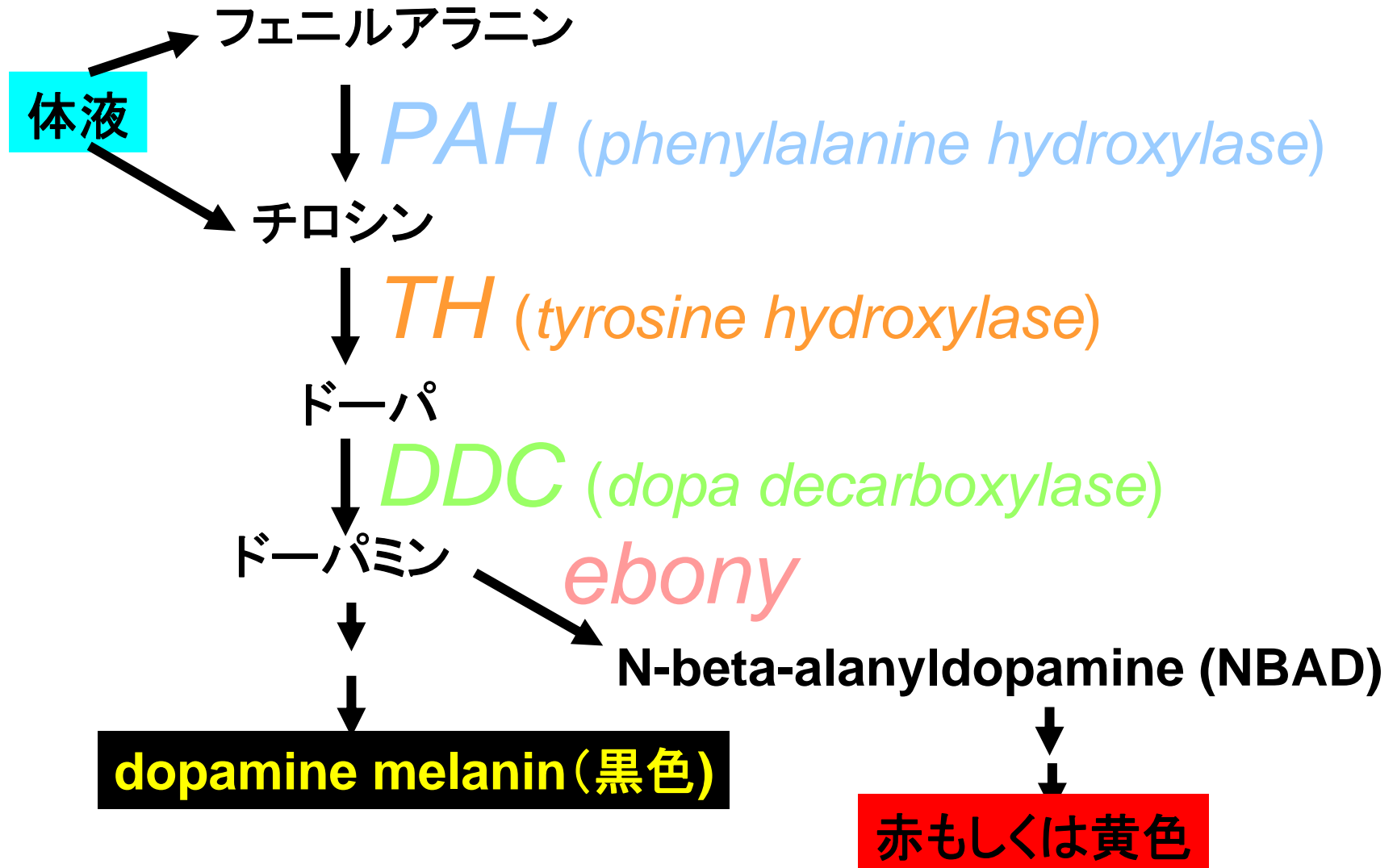


Needle experiment は翅と幼虫の目玉紋様の発生メカニズムの差を示唆する

# 昆虫の真皮細胞(+クチクラ)は画像素子？

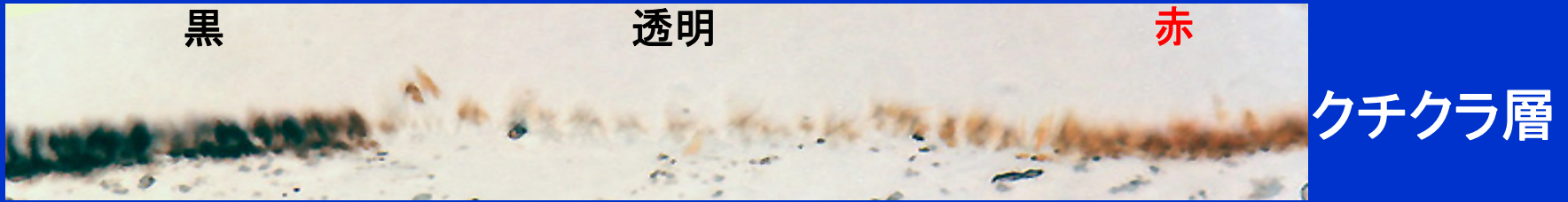


# メラニン合成酵素は黒と黄(赤)色の形成に関わる

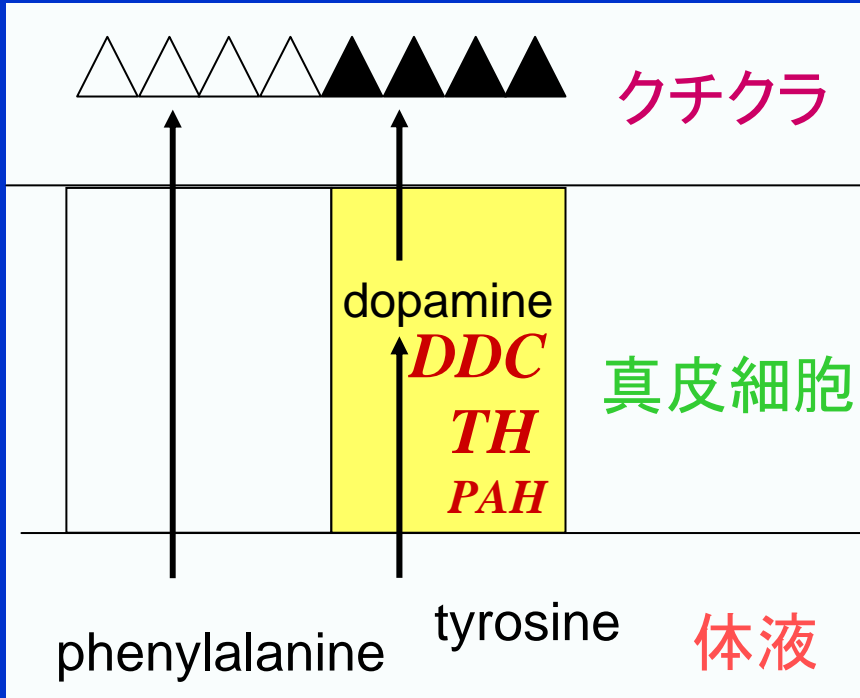




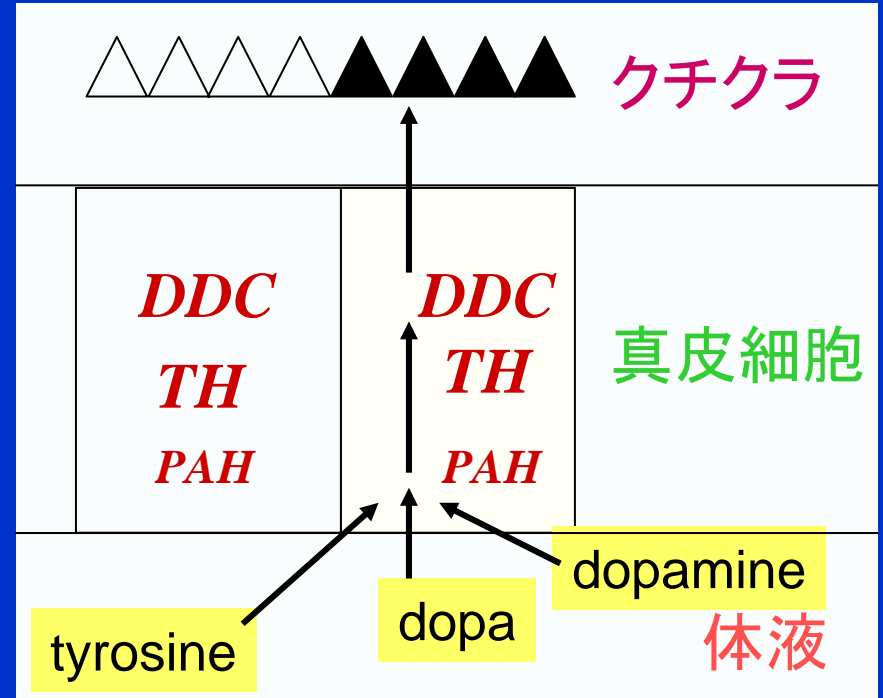
# パターン形成を制御する二つの可能性



## 領域特異的な色素合成

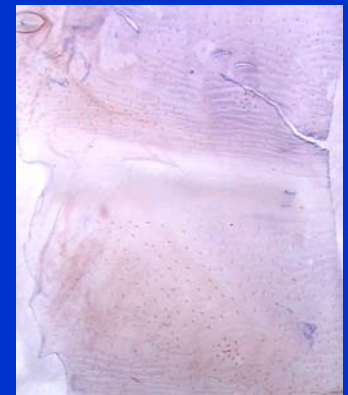
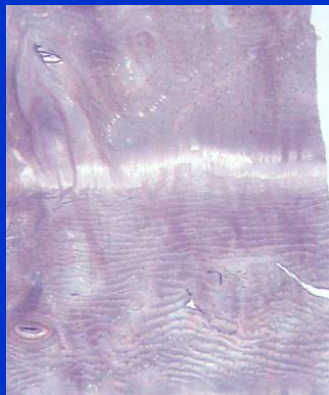
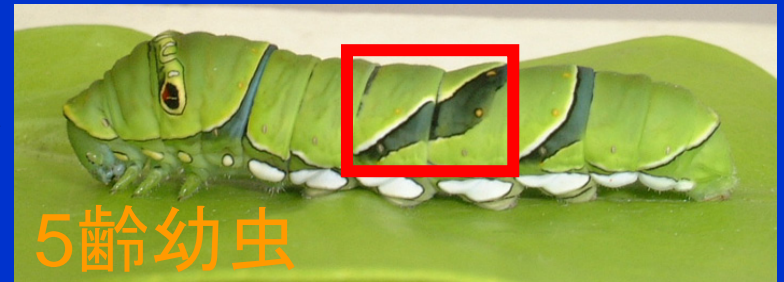


## 領域特異的な前駆体取り込み

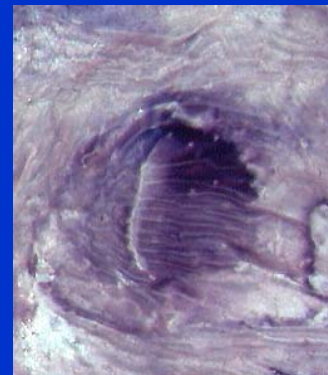
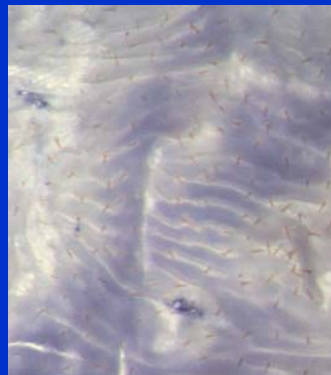




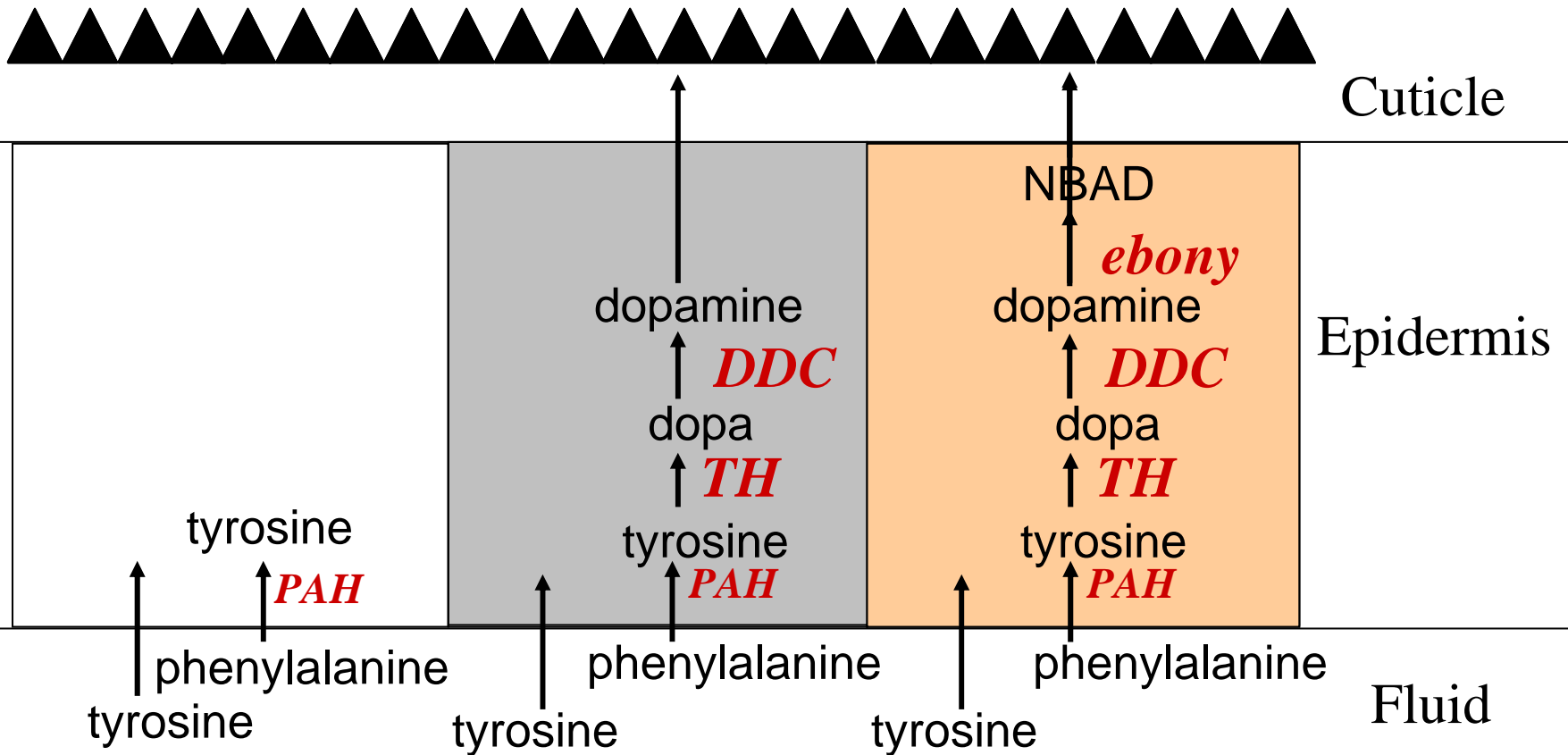
# 4齡脱皮期における発現パターン (*in situ* hybridization)



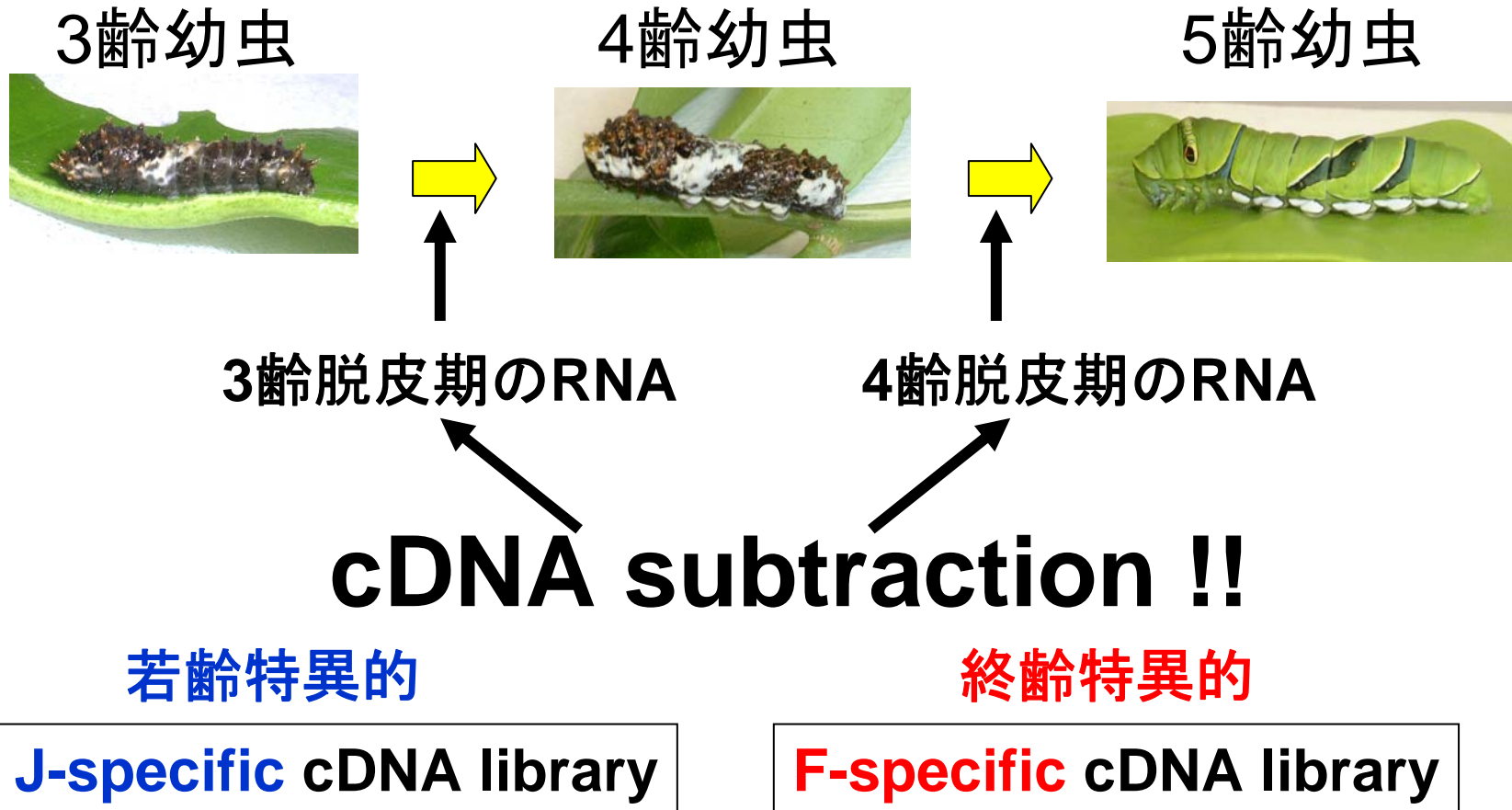
# 4齡脱皮期における発現パターン (*in situ* hybridization)



メラニン合成酵素の真皮細胞における領域特異的な発現が、黒や赤のクチクラ紋様パターンを制御している



# アゲハ4齢幼虫と5齢幼虫の紋様の違いを生み出す遺伝子の探索(cDNAサブトラクション)





# 緑色は青色と黄色を合わせて作り出す

食草

柑橘類・山椒

柑橘類

セリ科

ナミアゲハ

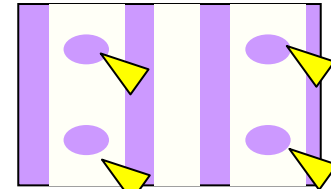
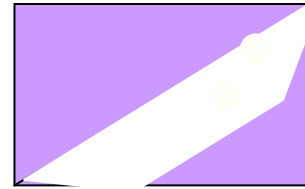
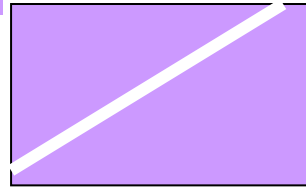
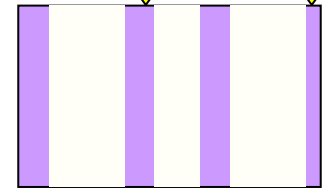
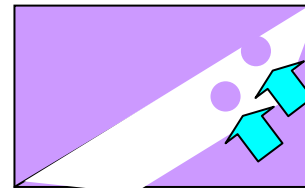
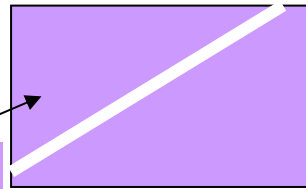
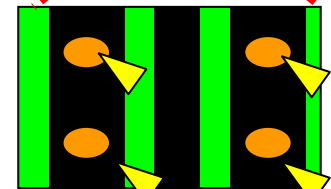
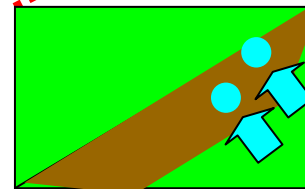
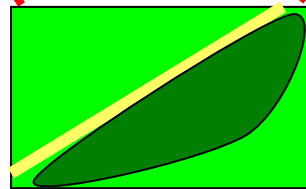
シロオビアゲハ

キアゲハ

5齡幼虫



5齡幼虫  
の紋様



青色遺伝子

→ X

遺伝子発現領域

黄色遺伝子

→ Y

緑色の領域

+ X シロオビアゲハの青色のスポット

+ Y キアゲハの黄色のスポット

2004  
ニュースレター “おかいこさま”

No.1

<http://kaiko.kyushu-u.ac.jp/index.html>

National  
Bio-Resources  
Project "Silkworm"

±



L  
褐円



Ze  
虎蚕



p<sup>s</sup>  
黒縞

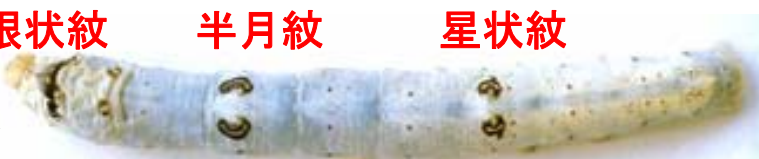


p  
形蚕

眼状紋

半月紋

星状紋



ms  
多星紋



NI  
無半月紋



p  
姫蚕



写真:九州大学・伴野豊氏提供  
二橋亮・藤原晴彦(2004)現代化学 10月号 p57, 図3