

第3節 昆虫成虫の構造と機能（カイコ成虫）

カイコはイモムシ型の幼虫から、蛹を経て有翅の成虫へと、劇的な形態変化を遂げる完全変態の昆虫である。この種では、幼虫期は栄養生長、成虫期は移動分散と繁殖へと、はっきりとその機能が分かれている。カイコの野生種であるクワコのおス成虫は、飛行しながらフェロモン（同種他個体に作用する情報化学物質）の匂いを発散するメスを探索する。カイコ蛾は、育種を通してもはや飛ぶことはできなくなった。しかしその形態はクワコとほとんど変わらず、オスは羽ばたきながら歩いてメスを探索する。本実験は、成虫の機能を支える内部・外部構造を観察するとともに、行動そのものを見ることから、構造の持つ意味について考察することを目的とする。

3.1 カイコ成虫の外部形態の観察

成虫の外観は幼虫とは異なり、頭部と胸部そして腹部の3つにはっきりとわかれている。そしてその体表は鱗翅目の特徴である鱗粉によって一面に覆われている。頭部には大きな櫛状の触角と複眼を持ち、口器はあるものの餌は全くとらない。発達した胸部には、前脚、中脚、後脚の3対の脚と鱗粉に覆われた前翅と後翅の2対の翅が付いている。腹部は幼虫期と比べると著しく短縮され、尾端の外部生殖器官の形態は雌雄で大きく異なっている。メスは産卵管を突き出して、フェロモンを分泌する側胞を広げ、オスを呼ぶ。

【目 的】

外部形態のスケッチを通して、成虫の体制、付属肢と感覚器官の構成を知る。

【材料と実験動物】

- 1) カイコ *Bombyx mori* (L.) チョウ目カイコガ科 メス成虫1頭（羽化後3日以内）
- 2) ケント紙、鉛筆（HB）

【演 習】

カイコメス成虫の外観をスケッチして、図を参照しながら各部の名称を記入せよ。

3.2 カイコ成虫の解剖

成虫の胸部はほとんど飛翔筋で埋め尽くされていて、キチン化した箱状の外骨格をたわませることで、翅が角度を変えながら上下する巧妙な構造になっている。触角と複眼からの情報処理のため、脳は幼虫のものよりも一段と発達している。短くなった腹部には、燃料となる糖や脂質を貯えた多量の脂肪体の中に、大きく発達した卵巣（ovary）・精巣（testis）などの内部生殖器官が埋まっている。消化管の構成は大きく変化して、もはや消化・吸収の役目を果たしていない。

【目 的】

カイコ メス成虫の内部構造を観察し、移動分散と繁殖に特化した構造を理解する。

【試薬・器具】

- 1) 試薬：酢酸エチル，生理食塩水
- 2) 器具：実体顕微鏡，麻酔用バイアル瓶（100ml 容），眼科用剪刀（ハサミ），先端ピンセット，有頭針，パラフィンベッド，脱脂綿

【メス成虫腹部の解剖】

- 1) バイアルに酢酸エチルを浸みこませた脱脂綿を入れ，すでに外部形態を観察したメス成虫を入れてから蓋をして麻酔する．鉗を使って前翅・後翅とすべての脚を根元から切り取る．パラフィンベッドに乗せ，胸部にピンを刺して固定する．腹部背面の表皮をピンセットでつまみ，内部を傷つけないようにしながら，尾端を残して胸部の直前までハサミを入れる．次にピンセットを使って表皮を左右に広げ，ピンでパラフィンベッドに固定する．観察のため腹部全体が浸るように，生理食塩水で満たす．
- 2) 卵巣の観察：絡まった気管をピンセットで慎重に取り除き，卵が一行につまった左右4本ずつ，計8本の卵巣小管（ovarian tubule）を観察する．
- 3) 内部生殖器付属器官の観察：左右4本ずつの卵巣小管はその基部でまとまり，左右の輸卵管（oviduct）はさらに合して産卵管（ovipositor）になる．輸卵管の付け根を鉗で切断して卵巣を取り除き，下線を付けた次の各種付属器官の観察を行なう．交尾によりオスの挿入器（aedeagus）がメスの交尾口（ostium bursae）に挿入されると，オスはまず射精管（ejaculatory duct）からの分泌液を交尾嚢（bursa copulatrix）に注入して精包（spermatophore）を形成し，精子を注入して離れる．精包はやがて交尾嚢の内壁でこすられて薄くなり，精子が放出される．精子は精子管を通して産卵管に出てから受精嚢（spermatheca）に送られ，貯蔵される．媒精は産卵の際におこなわれる．卵が卵巣小管から輸卵管，産卵管内を下り，受精嚢からのびる螺旋管（spiral duct）の開口部に達すると，産卵管内の隆起に卵の前端が当たって支えられる．そのとき精子は螺旋管内を通る受精小管を通して卵に到達し，受精する．卵は産卵管をさらに下り，粘液腺の分泌物で覆われてから基質の表面に産み付けられる．
- 4) 腹部の消化管の観察：卵巣を取り除いた腹部の上部には，丸い褐色の中腸が現れる．幼虫の中腸は蛹化の際，新たにできた中腸皮膜の中に脱落し消化される．羽化して成虫になると，長さは幼虫時の1/5に縮み，重さは1/100にまで減少している．短縮された中腸には，逆に細長くなった後腸が付き，直腸の末端は嚢状に肥大して直腸嚢となり，中には尿酸の顆粒を含む赤褐色の蛾尿（meconium）が貯められて，羽化とともに排泄される．

【成虫頭部・胸部の解剖】

- 1) 飛翔筋の観察：ハサミを使って腹部を胸部から切り離す．胸部後端の良く発達した板，後分隔壁（post-phragma）の中央を，ハサミで上下に分断する．次に前胸の末端までハサミを入れ，飛翔筋と背板を左右に分断する．左右に開いてピンで固定すると，腹走する消化管と神経が見える．生理食塩水を滴下して観察する．飛翔筋は中央近くの背面縦走筋と，体側近くで背と腹を結ぶ背腹筋から構成されていて，それぞれ翅の下げと上げの運動をおこなう．飛

翔筋には多数の気管が陥入して、呼吸を支えている。

- 2) 脳の観察：ピンを外し、腹面を上にして再度固定する。頭部の鱗粉と口器をピンセットを使って取り除く。複眼に挟まれた逆三角形の前額のクチクラを、2本のピンセットあるいはハサミを使って外す。生理食塩水を滴下して組織の乾燥を防ぐ。多数の気管を除去すると脳（食道神経節）が見えてくる。視葉、触角葉などを観察する。

3.3 カイコ成虫の配偶行動と定位行動

カイコの配偶行動は、メスがフェロモンを放散してオスを呼ぶ(calling)ことから始まる。静止していたオス成虫は、フェロモンを感知すると、ただちに羽ばたきを開始して歩きはじめる。オスは婚礼ダンス(mating dance)と呼ばれる特徴的な転回運動を交えながら風上のメスに接近し、メスと接触すると尾端を曲げて交尾に至る。ここには、クワゴのように飛翔しながらメスを探索する過程は、もはや含まれていない。しかし、フェロモン源を探索するプログラムには、多くの共通点が残されている。

【目 的】

フェロモン源のメス成虫に接近するオス成虫の行動を観察し、さらに処理を施してその影響を調べることにより、オス成虫の定位機構と構造の持つ機能的役割を推定する。

【材料と実験動物】

- 1) 実験動物：カイコオス成虫 10 頭、メス成虫 2 頭（羽化 3 日以内）個別に容器に収納
- 2) 風洞：透明塩化ビニール板（120×70 cm）、段ボール箱、ナイロン糸、濾紙（Whatman#2, 60×60 cm, 3 枚）、真空掃除機
- 3) 試薬：四塩化チタン（25 ml）
- 4) 器具：止まり木スタンド、ストップウォッチ、眼科用剪刀、白修正液、スケール

【方 法】

- 1) 実験室の条件：室温 20° 以上、換気はおこなうがほぼ無風状態、自然光あるいは人工照明下。この実験はグループでおこなう。
- 2) 風洞：実験台の上に設置する。風洞は、塩化ビニールの板をカマボコ型に曲げてナイロン糸で固定し、一端に紙箱を固定したもので、箱の孔に真空掃除機のダクトを差し込み、吸引することで風を起こす。四塩化チタンの容器の蓋を開けて風洞の入口に置き、発生した二酸化チタンの白煙が一定距離を流れる時間から、風速を計算する。繊維状の白煙の流れからフェロモン蒸気の乱れが推定される。四塩化チタンは塩酸を発生するので、取り扱いには充分注意すること。風洞の床面に濾紙を敷く。濾紙には 10 cm 方眼となるように、あらかじめ鉛筆で線を引いておく。

- 3) オスとメスの配置：まず濾紙上の指定の位置にオスを置く。次にメスの両翅をつまみ、止まり木スタンドの足場を抱かせてぶら下げると、尾端は床上約 1 cm に位置する。メスが尾端を出し、継続してコーリングすることを確認する。メスを乗せたスタンドを、濾紙アリーナの風上側の一定の場所に導入してから、濾紙をずらして、オスとメスが風洞の軸に沿うように配置する。接近して来たオスが、スタンドのベースに触れたら、メスをスタンドごと風洞外に取り出して、観察を終了する。

【演習】 定位行動の観察

オスを風洞の入口から 40 cm に置いたのちに、スタンドに乗せたメスを入口から 20 cm の位置に導入して、オス・メスそれぞれの行動を記録する。方眼紙にオスの歩いた軌跡を図示し、30 秒ごとの位置を横線で示す。スタンドに接触したら観察を終了する。

問 1. 止まり木上のメスの行動について説明せよ。

問 2. メスを導入した直後のオスの行動の変化について説明せよ。

問 3. オスの歩行パターンは、どのような動きの要素から構成されていたか。

【演習】 処理オスの到達時間から処理の影響を知る

オス成虫を歩かせて、メスに早く到達できるオスを 4 頭選抜する。1 頭のオスにつき処理前に 5 回、メスの風下 20 cm から歩かせ、メスを乗せたスタンドに脚が触れるまでの所要時間を計測する。次にそのオスに処理を施して、5 分以上放置したのち、再び 5 回、所要時間を計測する。最後に、処理前 5 回と処理後 5 回のデータセットについて、処理により所要時間が有意に増したかどうかを、Mann-Whitney U-test で検定する。それぞれのオスには、次にあげた処理のいずれかを施す。

- 1) 速乾性の白修正液をオスの複眼に塗布する。このときオス蛾は脚で刷毛を払おうとするので、予め濾紙片などにつかまらせておいてから、側面からすばやく一度で塗り付ける。修正液が脚に着くと、歩行が困難になるので注意すること。
- 2) 触角を、眼科用剪刀を使って片方だけ切除する。
- 3) すべての翅を付け根から切除する。
- 4) (2)の個体について、もう一方の触角も切除する。

これらの処理の中には、メスへの到達を実質的に不可能にするものも含まれている。所要時間が 4 分を越えた場合には、>4 min として観察を終了する。

問 1： それぞれの処理について、a. オスの行動上の変化、b. 到達所要時間の有意差検定 (U-test)、c. 結局メスに到達できたか。について答え、それらの結果を踏まえて、処理を施した器官の機能について考察せよ。

問 2： フェロモンの匂いを発散しているメスに向かうオスの、情報収集と定位（空間内のある領域に向かう行動）のメカニズムを推測せよ。

ヒント：オス蛾は羽ばたきにより，前方から空気を吸込んでいる．匂いの分布は不連続で，オス蛾は匂いのパルスを感じるごとに左右の転回方向を変えることが知られている．その結果，フェロモンの匂いが薄ければ転回をつづけ，濃くなると直進へと移行する．

【演習】 反射とプログラム行動

- 1) メスの近くで婚礼ダンスをおこなっているオスを取り，触角を2本とも切り落とす．
- 2) さらに頭部を切断する

問：それぞれの処理後の行動変化から，婚礼ダンスの神経行動メカニズムを考察せよ．

ヒント：反射では感覚器からの入力，反射中枢を介して直接，筋肉の運動へと結びつく反射弓を形成している．一方，プログラム行動では，中枢自体に周期的行動パターンを作り出す神経機構が備わっていて，入力がとだえても行動パターンは持続し得る．

【演習】 行動解発因子の特異性

用意したオスをメスの近くにすべて放し，行動を観察する．

問：オス同士の示した行動から，フェロモンとそのあとに続く行動解発因子の種・性特異性について比較し，このような組み合わせがなぜ選択されたかについて考察せよ．

ヒント：体表の鱗粉が，交尾行動を引き起こすことが知られている．