

第2節 昆虫幼虫の解剖（カイコ幼虫）

地球のまたの名を昆虫の惑星と呼ぶように、動物種の3/4の100万種は昆虫が占める。脊椎動物と相対する無脊椎動物の昆虫は、体形は左右相称で背と腹と前後（頭と尾）が区別でき脊椎動物と共通点も持つが、腹髄神経系、開放血管系、外骨格系そして獲得免疫系を持たないなどの多くの違いがみられる。本節では昆虫幼虫の外部と内部形態の観察を通してそれらの機能を学び、脊椎動物とは違った方法で地球上で適応し繁栄している一農業害虫としての一理由について理解する。

2.1 幼虫外部形態の観察

【目的】 外部形態から、昆虫は頭部、胸部、腹部からなることを確認し、歩行運動から外骨格系と筋肉系について理解する。背脈管の動きから循環器系についても理解する。

【昆虫】 カイコ5齢幼虫（数時間絶食させたもの）

【器具】 パラフィンベッド、実体顕微鏡、ケント紙、鉛筆、100ml ガラス瓶。

【外部形態】 頭を左にしてパラフィンベッド上に幼虫を置く。幼虫はじかに触れないようにパラフィンベッドを手で持ち上げたり回転させることで観察しやすい位置に置く。頭を左にした状態で、頭部、胸部そして腹部の形態との関係を確認する。

頭部は、クワの葉を噛むのに適した咀嚼口と、その筋肉を保持するキチン化した頭蓋から構成される。肉眼で観察するには、各器官は小さいので実体顕微鏡下で観察する。頭蓋側面には6個ずつの点眼、1対の短い触角、そして口器周辺には化学感覚毛が見られる。これらの器官は、光、匂い、そして味覚などの入力情報を受容し、脳で統御し運動の制御をする。単一に見える頭部は、実際には6節の体節が合体節化してできたものである。

胸部は、歩行肢からなる3対の胸脚によって確認できる。腹部は5対の擬脚（腹部第3節から6節までに4対の腹脚と末端の節に1対の尾脚）で支えられている。これらは皮膚にできた突起物が歩行の役目を果たしており、本来の付属肢としての脚でないので擬脚と呼ばれる。胸部と腹部の体側面には、前胸部に1対と腹部に8対の気門が開いており、これを開けて呼吸する。

【歩行運動】 パラフィンベッド上に幼虫を静かに置く。その上で活発に動く個体については胸脚と擬脚の動きを頭部・胸部そして腹部の位置関係より確認しながら観察する。不活発な幼虫は尾端を指や鉛筆でつついて歩行を促すとよい。

【背脈管の動き】 頭を前方に尾端を手前にして幼虫をパラフィンベッド上に置く。腹部第2、3節の背面の正中線を注視しする。後方から前方に向かって蠕動運動が表皮を透して確認できる。しかし、蠕動運動はこれらの体節だけではなく、腹部末端節から胸部第1節に向かって連続した動きとしてもまた確認できる。

これが背面の正中線に沿って脈打つ昆虫の心臓（背脈管）である。心臓から出る動脈は、各体節の両側へ向かい途中で切れる体節動脈と、前方に延びて同じく途中で切れる大動脈になって、それぞれから血体腔中に体液を送っている。送り出されて血体腔中を巡った血液は静脈流となって囲心腔から心臓の心門に向かう帰還流となって循環する。しかし、帰還流は血体腔中にできるだけで導管によって心臓に導かれることはない、これが開放血管系としての循環である。各器官

は血体腔中に浮いていたり流れに接していて、物質の交換は浸透によって行われる。

2.2 幼虫内部形態の観察

【目的】 内部形態から、幼虫期が成長のための段階であることを理解する。また情報の受容と運動、脱皮と変態が神経細胞と強く関わることを理解する。

【昆虫】 外部形態の観察で用いたカイコ5齢幼虫

【試薬】 酢酸エチル（麻醉用）、生理食塩水（0.8% NaCl 水溶液）。

【器具】 ハサミ、ピンセット、柄付き針、ピン、パラフィンベッド、実体顕微鏡、ケント紙、鉛筆、100ml ガラス瓶、脱脂綿。

【消化器系・呼吸器系ほか】

1) **腹部の解剖** ガラス瓶に脱脂綿を入れ酢酸エチルを浸みこませる。瓶の中に幼虫を入れて蓋をして麻醉する。麻醉が効いた幼虫をパラフィンベッドに置き、胸部の背面を押さえながら頭部前方にピンを刺して固定する。体を親指と人さし指で軽くつまみながら延ばし、尾端にピンを刺して固定する。尾角をピンセットでつまみハサミで基部に切り口を入れる。その切り口から持ち上げ気味に頭部に向かって皮膚を切り開く。頭の付け根まで達したら、2本のピンセットで表皮を摘んで左右に広げ、両端にピンをうつ。虫体を生理食塩水で浸し観察しやすくする。消化管を傷つけて囲食膜と内容物が出てしまった時には、それらをピンセットで引きずり出してから、水道水をパラフィンベッドの一端から少しずつ流して洗浄する。その後、生理食塩水を注ぐ。

〈概観〉 血色素を持った血球を一般には構成要素としないので、体液は無色透明で器官は容易に判別できる。体内のほとんどは消化管で占められている。消化管には、気門からは酸素を供給する気管がめぐらされている。消化管で吸収した栄養のほとんどは脂肪体に貯えられる。終齢幼虫の腹部には巨大な絹糸腺が消化管の両脇に発達している。また黄色く色づいた排出のためのマルピーギ管が後腸につながっている。

2) **消化管** 前腸、中腸そして後腸からなる。前腸と後腸は外胚葉起源で、内面は表皮と連続したクチクラ層で守られている。内胚葉起源の中腸内壁は、キチン質の半透膜（囲食膜）で保護されている。口腔から取込んだ食物は、食道を通り前腸のそ嚢に一時ため置かれ、逆進を防ぐ前胃弁を通して中腸へと送り込まれる。中腸では、囲食膜を浸透して分泌される酵素で消化され、消化物は囲食膜を逆に浸透して、主に胃盲嚢に分布する絨毛様突起の細胞で吸収される。2重構造の囲食膜は、脱皮のときに更新される。吸収された残りかすは、中腸を覆う環状筋と縦走筋の運動で後方へ送られ、後腸の小腸、結腸、特に直腸で残りの養分が水分とともに吸収されて、糞として排泄される。消化管での能動的な吸収は主としてNa⁺ポンプによって駆動される。その吸収活動を支えるために、気管叢から多くの気管が放射状に伸びて、腸壁に入り込んでいる。

3) **マルピーギ管と後腸** 小腸にはリボフラビンで黄色く色付いたマルピーギ管が開口している。1対のマルピーギ管は付け根のすぐそばで3本に分かれ（合計6本になる）、中腸壁に沿って前方に向かってから反転してもとに戻り、先端は直腸の表面に陥入している。マルピーギ管の先端側では、主としてK⁺ポンプの働きで原尿が管の中に放出され、小腸との付け根に近いところでは逆に吸収がおこなわれる。しかし原尿のかなりの部分はそのまま小腸に放出されて、中腸から来た消

化物とともに、直腸で徹底した再吸収がおこなわれる。そのときに養分と老廃物の選別がおこなわれる。鱗翅目や鞘翅目昆虫では、マルピーギ管の末端は直腸の表面に陥入して隠腎管複合体を形成し、直腸で再吸収されたイオンをもう一度選択的に排出する働きをしている。その結果、食植性昆虫で過剰となりがちな K^+ と、動物として必要な Na^+ のバランスをとっているのではないかと推測されている。このように昆虫では消化管を泌尿器の一部として共用することで、簡単な構造にもかかわらず排泄を効果的におこなっている。

4) **気管系** 血色素を持った血液を循環させるのではなく、気体状の酸素運搬のために気管系を発達させて、ミトコンドリアに気体状の酸素を直接供給する方法をとった。

体側の気門から伸びる黒っぽい管が気管で、気門付近で放射状に分岐する部分を特に気管叢と呼ぶ。黒っぽく見えるのは、気管内部の黒く着色した螺旋糸のためである。これにより管は補強されて、つぶれにくい構造になっている。螺旋糸のない気管の末端部分を毛細気管と呼び、端末細胞は分岐して組織の中に直接陥入している。代謝の活発な器官には、多くの気管がからみ付いている。気管の起源は表皮が陥入したもので、気管のネットワークは脱皮の際に灰白部で切れ、脱皮殻とともに脱ぎ捨てられる。

5) **脂肪体** 器官の間を満たしている白く扁平な組織が脂肪体である。個々の細胞は集まって塊を形成し、基底膜と呼ばれる蛋白質の膜に覆われている。脂肪の合成、貯蔵、 β 酸化による分解をおこなうほか、糖をグリコーゲンとして貯蔵し、分解しては血糖のトレハロースとして送り出す機能を持つ。脊椎動物の肝臓に相当する物質代謝の中心的な組織である。窒素代謝もおこない、合成された尿酸の一部はマルピーギ管から直接排泄されるが、多くは皮膚に移行して蓄積(貯蔵排泄)される。蛹化時に一部の尿酸が直接排泄され、その残りは羽化時に蛾尿として排泄されるが、鱗粉の原料ともなる。さらに、抗菌性リポ多糖類の合成もおこない、生体防御機構の一部も担っている。

6) **絹糸腺** 消化管の両脇には、1対の透明な絹糸腺がみられる。摂取した蛋白質の50%以上が繭糸に使われる。腺の末端付近の後部糸腺は屈曲しながら第10体節付近にまで達し、S字型に折り畳まれた太い中部糸腺、さらに細い導管の前部糸腺を経て、頭部で1対が合体して吐糸口に達している。後部糸腺では生糸の主成分蛋白質であるフィブロインが分泌され、中部糸腺からのセリシンとともに液状絹となって前部糸腺を通り、吐糸管から出て糸となって紡がれる。

【神経系と内分泌系】

内部形態とくに神経系と神経分泌器官の理解と、幼若ホルモンと脱皮ホルモンの脱皮・変態の制御機構について理解する。

1) 胸部ならびに腹部神経節

a) **消化管と絹糸腺の除去** 消化管の後端をハサミで切断する。気管を右手のピンセットで切りつつ、左手のピンセットで後端から順に消化管をつまみあげる。食道付近をハサミで切断してから、消化管を取り除く。この時に頭部から前胸部にかけての神経を切り取らないように注意する。1対の絹糸腺は前部糸腺を残して取り除く。濁って観察しにくい時には、水道の流水をパラフィンベッドに少しずつ流しながら洗浄する。

〈概観〉 頭部から前胸部にかけては、脱皮・変態を始め、後胚発生の様々な場面を制御する種々の内分泌器官が集中している。腹側には脳から尾端に向けて腹神経索が走り、体節ごとに神経節を形成している。

b) **腹髄と神経節** 消化管を取り除いたあと、体軸に沿って正中線上を注意深く調べると、頭部から尾端に走る1対の腹髄(腹神経索)が観察できる。各体節に紫色の顆粒を持った神経節が

確認できる。たとえば、運動ニューロンがそこから筋肉へと伸びてゆく。神経節の表面には神経細胞の細胞体が存在し、その中心部に向かっては一本の神経突起が延びている。神経節内部では、神経突起からの樹状突起が、他のニューロンの樹状突起とシナプス結合して、神経叢を形成している。ここで情報の統合が行われる。

腹髄を走る巨大介在ニューロンや感覚ニューロンと、興奮性あるいは抑制性シナプスが結合をした影響は、神経突起上のスパイク起始部に伝わって膜電位を変化させる。閾値を越えた時、 Na^+ の流入による活動電位が発生し、軸索上をインパルスとなって伝わってゆく。軸索は神経節から伸びる末梢神経を通り筋肉へと達する。神経筋接合部もシナプス結合で、一本の筋繊維は幾つかの異なった運動ニューロンと連絡している。その統合された膜電位の変化が Ca^{++} の流入を誘い、筋収縮をもたらす。

2) 神経系と内分泌系

- a) **頭部の解剖** 実体顕微鏡下で、両手に持った2つのピンセットで頭蓋の中央付近を挟み左右に開き、左右の頭蓋をピンで固定する。観察のために切り取ったあと、残ったままの食道も取り除く。

〈概観〉 脳をはじめ、頭胸部の神経系が観察できる。頭部前方に打った固定用針の手前に、腹部の神経節よりは大きな脳が左右の半球が融合した形で、他の神経節と同様に紫色の顆粒で染まっている。脳から伸びる左右の腹髄は、環状になって食道を通し（食道神経環）、食道の下の食道下神経節で繋がっている。前胸腺刺激ホルモンの支配をうける前胸線は、前胸の気門の内側で、気管が叢状に分岐している第一気管叢からみついている透明で細長い器官である。その内側には唾液腺があるが、前胸腺より太く長く、黄色に着色しているので容易に区別できる。

- b) **頭胸部の神経系と内分泌器官** 脳は、情報を統合して、行動の開始と制御をおこなう中枢であり、多くのニューロンが連絡している（一部は”1”で述べた通り）。

昆虫では、中枢および末梢神経系に、情報を統合する神経細胞としての構造と機能を持ったものの中にホルモンを分泌する神経内分泌細胞が見いだされている。脳から出る神経索のうち、左右の半球端から胸部に向かって延びる線維を追ってゆくと、末端に球形のアラタ体が見える。その付け根付近の膨らみが側心体である。これらは脳間部-側心体-アラタ体系の内分泌系を構成している。

前脳の脳間部の神経分泌細胞で生産された各種のペプチドホルモンは、側心体さらにはアラタ体まで伸びた軸索を通り、これらいずれかの器官から放出される。特に、前胸腺刺激ホルモン PTH は、脳間部の側方背側の2対の神経分泌細胞で生産されて、側心体を通してアラタ体に延びた貯蔵放出器官となった軸索末端から体液中に放出されて、前胸腺を刺激して脱皮ホルモン MH の分泌を促す。アラタ体自身は、幼虫脱皮の調節などに重要な働きをする幼若ホルモン JH の生産と分泌もおこなっている。側心体の神経分泌細胞自体も、ペプチドホルモンを生産し分泌する。

幼虫から幼虫への脱皮は、JH が存在するときに、PTH が前胸腺を刺激しそこでステロイド系の MH（エクジソン）の合成・分泌を促した結果として起こる。幼虫から蛹への蛹化は JH がわずかに存在するときに、そして蛹から成虫への成虫化は JH が存在しないときに、PTH により合成・分泌が促されたエクジソンが体内の諸器官に働いた結果として起こる。翅芽は蛹期にエクジソンの刺激により翅へとなる。蛹期に成虫の準備が終わると、成虫脱皮は、脳間部の2対の神経分泌細胞で合成されて、アラタ体に血中に放出される羽化ホルモンによって行われる。成虫になると前胸腺は消失し、一方、蛹の時期に分泌活動をしなかったアラタ体が活発に活動し始めて、放出される JH が生殖に関わり始める。エクジソンは脱皮と成虫への準備に関わり、幼若ホルモンは幼虫時と成虫時の生理的な維持機構に関わっていることが示唆されている。