

13 章 昆虫の生き方を知る

13.1 昆虫とは？

昆虫は我々人類にとって手強い競争相手であり、また同時にかけがえのない存在でもある。昆虫のあるものは農作物や家屋を食い荒らし、動植物の病気を媒介する。またあるものは受粉を助け、害虫を制し、排泄物を分解する。昆虫の影響力がこのように大きな理由として、他の動物を圧倒する種の数、また個体数があげられよう。現在記載されている種は 90 万種を越え (300 万種、一説では 3,000 万種に及ぶかも知れない)、バッタの一群の個体数は 1 億を越える。体サイズが小さいとは言え、昆虫がバイオマスとして生態系に及ぼすインパクトは相当なものである。このような多様性と膨大な個体数は、生存機械としての昆虫の完成度の高さと、あらゆるニッチに入り込む優れた適応力を物語っている。

翅を持った有翅亜綱の昆虫の起原は古く、その基本デザインは石炭紀 (今から 30 億年前) 以来ほとんど変わっていない。その後中生代に至るまでの 10 億年間、昆虫は空を制した唯一の動物であった。昆虫の生活圏は、極地、乾燥地、火山、淡水も含む、陸上のあらゆる場所に及び、またわずかではあるが、海にすら進出している。淘汰をくぐりぬけたこの優秀なデザインを特徴づける要素は、どこにあるのだろうか。堅く丈夫で体を保護する、外骨格だろうか。飛行による効果的な移動分散で、資源探索、逃避、攻撃を可能にする、翅だろうか。高い繁殖力を支える、独特な生殖生理だろうか。おそらくそのすべてであろう。小さな体サイズは、あらゆる生息場所に入り込むことを可能にし、短い生活環は進化を加速する。環境の変化に応じて示す、行動、生理、生化学の高い適応力も、昆虫の成功の秘訣であろう。このような生存機械としての昆虫のメカニズムを明らかにすることから、害虫を制圧する手段を見出し、さらに機能の模倣や素材の利用を通して昆虫を生産に役立てることができる。

13.2 昆虫の生理学

すべての動物は、その体制に関らず、呼吸、水分・イオンバランス、摂食と消化、繁殖、移動、感覚受容 など多くの課題をかかえている。しかしその解決策はまちまちで、昆虫では脊椎動物とは全く異なる構造とメカニズムで対処している場合がある。たとえば、昆虫のマルピーギ管はその単純な構造にもかかわらず、脊椎動物の腎臓の複雑な糸球体と同等の効果的な排泄器官として働いている。昆虫では気管系を通して、ガス状の酸素を各組織に直接供給するので、哺乳動物のような肺も血色素も持たず、循環器系は呼吸に関らない。昆虫が翅を羽ばたかせて飛行するとき、飛翔筋や羽ばたきのメカニズムは鳥やコウモリとは全く異なり、揚力と推力を得る流体力学にも大きな相違がある。このような生物の多様性に着目する立場から、昆虫は比較生理学の研究対象として人気がある。

その一方で、昆虫と脊椎動物には多くの基本的共通点も認められる。たとえば、神経系は昆虫では分散処理型、脊椎動物は集中処理型に分化しているが、神経伝達の基本的メカニズムは共通である。胚発生にまでさかのぼると、ショウジョウバエとマウスの体制には、多くの共通点が認められる。たとえば昆虫を仰向けにしてマウスと並べたとき、相同性の高い分節遺伝子が対応する各部位に発現していることも判っている。このように、昆虫が細胞の分子生物学あるいは一般生理学の研究対象とされるのには理由がある。

昆虫の中には 1 ミリメートルに満たないものもいるが、細胞の大きさには脊椎動物と大

きな相違はない。つまり昆虫は、より少ない細胞を使った簡素なシステムで生きているのである。実際、脊椎動物の脳の情報処理機能を生理学的に解明するには、まだかなりの時間がかかりそうだが、機能的に相似する細胞数の少ない昆虫の脳ならば、そのネットワークをたどって全容を解明することも不可能ではなさそうだ。さらに獲得免疫の欠如と単純な開放血管系は、移植手術を容易なものにする。昆虫は、一般に飼育も容易で成長も早く、たとえば2週間で世代を繰り返すキイロショウジョウバエは、今や遺伝学のみならず発生学の研究対象として、最も良く知られたモデル動物のひとつとなった。また昆虫は地上のあらゆる環境に適応しているので、様々な生理学的課題に応じてその実験に適した昆虫種を探し出すことも可能である。

13.3 植物保護と昆虫生理学

一般生理学、比較生理学からのアプローチとともに、昆虫生理学には応用面からの期待がかかっている。資源を巡る昆虫との戦いは、DDTの発明以来、もっぱら有機合成殺虫剤を武器として行われてきた。特に塩素系を中心とする殺虫剤は、害虫との戦いの緒戦においては圧倒的な効果を発揮して、農業生産は飛躍的に伸びた。しかしそれと同時に、薬剤抵抗性の発達と天敵・被食者を含む生態系の攪乱、そして深刻な環境汚染を引き起こしたことも、また事実である。残留性の高い殺虫剤自体にも問題があったが、濫用もその遠因となっていた。この状況を打開するために、生理学は様々な要請を受けた。

まず、殺虫剤の作用機作や虫体内での分解過程の究明から、合成殺虫剤自体の改良が進められた。昆虫だけを標的にした選択性と高い殺虫効果、環境中で直ちに分解される低い残留性が、新しい殺虫剤の目標となった。現在、殺虫剤には神経毒が多く使われているが、すでに触れたように、昆虫と脊椎動物の基本的な神経伝達メカニズムはほとんど共通している。それにもかかわらず、殺虫剤が昆虫にだけ作用し脊椎動物には毒とならない理由は、シナプスや軸索のイオンチャネルなど作用点での酵素阻害活性、あるいはそこに至るまでの浸透性や分解の受けやすさが、両者で大きく異なるためである。現在は、マウスとイエバエに対する毒性の比が100以上の選択性の高い殺虫剤が多く作られるようになった。

昆虫に固有の生理現象を逆手にとった殺虫剤も開発された。昆虫は硬い殻を外骨格として持つために、生長にもなって脱皮する必要がある。そして最後の脱皮で変態して、はじめて生殖能力のある成虫となる。脱皮・変態に伴う急激な生理変化は、生理学の代表的課題のひとつとして深く研究されている。その背景のもとに、幼若ホルモンの生産を抑える抗幼若ホルモン剤や、脱皮ホルモンのアゴニスト、クチクラ成分キチンの合成阻害剤など、脱皮・変態の内分泌を攪乱したり、脱皮そのものを阻害することで昆虫を死に至らしめる様々な殺虫剤が開発された。

作物自体に殺虫活性を持たせるアイデアも具体化された。昆虫に有毒な蛋白質を生産することから微生物農薬として使われていた細菌、*Bacillus thuringensis*の毒素の遺伝子をワタに導入して、植物体に殺虫活性を持たせる試みが成功した。BT毒素はチョウ目の昆虫の消化管に入るとアルカリ加水分解を受け、その分解物が中腸表皮細胞に結合して毒として作用する。BT毒素の導入はさらにダイズ、トウモロコシへと進められたが、一転して食品の安全性や環境への影響など新たな課題に直面している。

13.4 情報化学物質

殺虫剤は直接的で強力な防除手段であるが、目的とする害虫とともにその天敵までも殺虫してしまう弱点を持っている。濫用は生態系に影響して、かえって深刻な結果をもたらしかねない。もしも害虫だけをピンポイントで防除できたならば、その影響を最小限に抑えることが可能となろう。そこでフェロモンの利用が考えられた。フェロモンは、同種の他個体に作用する化学物質で、ファーブルの昆虫記では、オオクジャクガのメスが発してオスを誘引する不思議な力として登場する。化学構造が最初に明らかにされたのはカイコの性フェロモンで、その匂いを触角にある 17,000 の感覚子で毎秒 300 分子感じるだけで、オスは翅を振るわせてメスに向かう。

昆虫のフェロモンは、種ごとに化合物の種類やその混合比が異なっていて、種特異性の高い情報である。その一方で、行動を制御する化学情報であるがために、それぞれの昆虫種に固有な条件や、環境条件の影響を受けやすい。しかし条件さえ整えば、トラップによる大量誘殺や、大量のフェロモンで発信者の居場所をわからなくする交信攪乱などの方法で、特定の昆虫種を狙い撃ちすることができる。また害虫の発生予察にもうってついで、目的とする害虫種だけの発生活長をモニターできる。

情報化学物質はフェロモンに限らない。他の生物が出す情報化学物質はアレロケミカルと総称されているが、生物に働きかけて何らかの反応を引き出す点においては、種内の交信に使われるフェロモンと変わらない。行動を制御する化学物質を防除に応用するためには、これらの化学信号に対する昆虫の行動と生理をより深く知る必要がある。

13.5 感覚運動系のモデルとしての昆虫

化学物質をはじめとして、昆虫は多様な感覚刺激を情報の伝達や収集に使っている。音で交信しているのは、コオロギやセミばかりではない。バッタ、ミツバチ、ウンカなどさまざまな昆虫が、音波や振動を種内の交信に使っている。ホタルの雌雄は様々な発光パターンで互いに交信する。ミツバチやアリは、天空の偏光の濃淡を見ながら方向を知る。チョウやハチは花色を識別し、蜜のある花の色を学習する。このように昆虫たちは、匂い、味、音、振動、光、風など、生物間の信号や環境からの情報を頼りに、餌や配偶者などの資源を探索する。では、昆虫はどのようにして資源に向かうのだろうか。またなぜその匂いや音だけに反応するのだろうか。

資源探索のメカニズムを応用して総合的害虫管理 (IPM) に役立てれば、殺虫剤や誘引物質の使用量をもっと減らした、より合理的で環境・経済コストのかからない害虫防除が可能となろう。また簡素な構造にもかかわらず、複雑な作業を可能にする昆虫の感覚・神経系、運動系は、薄い翅から堅牢な胸部まで様々に分化する外骨格とともに、情報処理や機械のシステム開発に、環境の中での淘汰の歴史を経た現実的なアイデアを与えてくれる。

昆虫の生きるメカニズムを知ることから、昆虫に学び、昆虫を制し、また昆虫を利用することが可能となる。
(佐久間正幸)

参考図書

佐久間正幸 編: 植物を守る (21 世紀の農学 第 3 巻)、京都大学学術出版会、京都市、2008。
藤崎憲治、西田律夫、佐久間正幸 編: 昆虫科学が拓く未来、京都大学学術出版会、京都市、2009。