

# 昆虫の生体機能と利用に関する考察

水 澤 久 成  
Hisashige MIZUSAWA

## 1. はじめに

カイコが人間の癌の特効薬、インターフェロンを作る。シロアリは食糧難時代の救世主になる。ゴキブリの研究でボケ防止の薬が見つかるかも知れない。いま、一寸の虫から驚くべき産業革命が起ころうとしている。

いわゆる、バイオテクノロジーの中心を成す遺伝子組換え技術は、微生物から始まって、現在では植物から動物へと、その対象を拡げつつある。しかし、生物の持つ不思議な機能を、有効に利用しようとするかぎり、遺伝子の組換え技術がいくら進歩しても、それだけでは満足な結果が得られることにはならない。

個々の生物種が、その長い進化の過程で獲得してきた、多様な生活様式と、それを支える諸々の仕組みを明らかにしてこそ、生物の持つ仕組みや機能を有効に利用する道につながると考える。

## 2. 昆虫の多様性

昆虫が地球上に出現したのは、3億年まで遡る石炭期の頃といわれ、現在、種名の分かっているものだけでも180万種、さらに毎年6千種以上が新しく発見されていて、将来は3百万種以上に達すると推測されている。この数字は、全動物の6割が昆虫で占められており、人間を除けば地球上で最も繁栄している動物であると言える。

昆虫はその種類数ばかりでなく個体数でも断然多く、極地から熱帯、水中から砂漠まで、地球上の至るところに生息していて、多種、多様な環境に適応して分化、生息している。

昆虫は系統分類学上では、無脊椎動物の進化の頂点に位置し、脊椎動物の頂点にある哺乳動物と対比される。ちなみに、現存の種類はおよそ5千種類余に過ぎない。昆虫は種類の多さだけでなく、その数も極めて多く、ある計算によると人1名に対して、10億匹以上と言われる。人と対比される動物進化の一方の頂点にある昆虫が、このように繁栄している秘密は、生物のミステリーの一つということができる。

昆虫の繁栄の秘密は、様々な環境への適応を可能としたが、それは、かれらの持つ生理、生化学的な機能にあるといえる。例えば、体のサイズからは考えられないほどの優れた運動性、極寒や乾燥に対応して自分の成長を調整してしまう能力、いろいろな外敵や厳しい気象条件から身をまもる行動や形態などが注目される。これらの能力を獲得してきたことが、昆虫をしてあらゆる環境に適応した種の分化を促し、今日の繁栄をもたらしたのであろう。

### 3. 昆虫の感覚と神経系

昆虫はその生息環境のもとで、外界からのいろいろの刺激に対して、素早く反応する能力を持っている。人は五感によって、いろいろの刺激を情報として取り組むが、昆虫もまた視覚、聴覚、触角、嗅覚、味覚の五つの感覚を持っている。また、湿度や重力にも正しく反応するほか、赤外線やマイクロウェーブなどの、電磁波を知覚する能力を持っているとも言われている。

これらの感覚機能のうちでも、特に鋭敏であり、応用的価値から注目されるのは、嗅覚と味覚である。いずれも科学物質に対する感覚で、昆虫の生活を巡る重要な情報を、化学物質を媒体として取り込む。昆虫に化学的感覚がなかったら、今日の多様な種の分化は、有り得なかったと言っても過言ではない。

同じ種に属する仲間同士の、情報交換に使われる情報化学物質は、一般にフェロモンと言われ、その代表的なものとして、雌と雄が交尾するときに分泌される匂いがある。これは性フェロモンといわれる種独特の匂いで、昆虫は触角によってごく微量の性フェロモン分子を感知する。

そのほか、危険が迫ったときに仲間に知らせる、警報フェロモンや自分の縄張りを仲間に知らせる縄張りフェロモン、餌場から巣までの道しるべとなる道しるべフェロモン、好ましい生息場所を仲間たちに知らせる集合フェロモンなどがある。

一方、異なる生物種の間での情報化学物質もある。これらは他感物質といい、刺激の受け取り手が得をするものをカイロモン、刺激の送り手が得をするものをアロモン、受け手と送り手の双方が得をするものはシノモンという。リンゴの果実の匂いは、それを食べる昆虫のカイロモンであり、実に集まるカメムシを、手で掴んだときに出す臭い匂いは、外敵を撃退するためのアロモンである。そして、リンゴの花の匂いに引かれて、ミツバチやハナアブは蜜にありつき、花は花粉を媒介される。この花の匂いがシノモンである。

このように、いろいろな匂い物質は、昆虫の様々な行動を調節している。化学的な刺激が応用的価値を持つ理由は、これらの合成化学物質を使うことで、昆虫の自然の行動を再現す

ることが、可能となることによる。すなわち、これらの信号物質の化学構造と、その役割を明らかにすることで、いろいろの昆虫、つまり有害昆虫も有用昆虫も、その行動を制御する道が開けることになる。昆虫の行動を左右する重要な情報を担う、これらの化学物質の一部は、すでに実用的な害虫防除剤として利用されつつあり、昆虫の感覚と行動、いわゆる本能を利用した技術であると言える。

また、昆虫が受け取る外界からの情報は、中枢神経系によって処理され、出力情報として筋肉などに送られる。動物の脳・神経系のメカニズムの解明は、現代科学の一つの中心的課題でもあり、多くの研究が成されているが、昆虫の場合は哺乳動物と比べて、実験材料としての扱い易さと、入力刺激に対する明確な応答性を持つなど、注目すべき研究対象と成り得る。

#### 4. 昆虫の運動能力

飛翔、歩行、跳躍などの昆虫の活発な運動性も、また注目すべき特徴の一つである。もし、人にノミのような跳躍能力があれば、三段飛びの記録は一挙に500mにも達することになる。また種によっては、1秒間に1千回にも及ぶ翅の振動を可能とする、飛ぶときの筋肉活動なども知られている。昆虫の体の大きさからすれば、その運動機能の高さは驚異的とも言えるが、その秘密はエネルギー生産に関する、生化学的過程にあるとされている。

例えば、人では激しい運動をすると、すぐに筋肉の疲労を起こして動けなくなる。これはエネルギーの生産過程で、乳酸が蓄積するためである。しかし、昆虫では特殊な生化学的過程をもっているために、乳酸の蓄積もなく、極めて効率的なエネルギー生産が可能となっている。昆虫には、このようなエネルギーの生産機能一つをとってみても、他の生物にはない特異な機能をもっており、これらを明らかにすることで昆虫の繁栄の秘密の一端に触れることができる。

動物のいろいろな行動にはリズムがあり、これはいわゆる生物時計にて制御されている。生体リズムについては、いろいろな生物種について、時計の存在部位や測定機構の解析がなされているが、時計の本体が一体何であるかは不明である。しかし、この点についてもショウジョウバエの、行動リズムに関与すると思われるper遺伝子の発見以来、生物時計の本体が、昆虫の行動リズムとの関係で急速に解明されつつある。そして、昆虫はこの分野でもまた、生物の基本的メカニズムの解明に大きな役割を果たすことになろう。

#### 5. 昆虫の成長調節機能

昆虫の成長の特徴の一つは、その多くが変態できるということである。完全変態類に属す

る昆虫は、卵、幼虫、蛹、成虫の発育段階を経て成長し、蛹の時期には、それまでの幼虫の生体組織に大きな変革が起こって、翅を持った成虫へと変態する。つまり、昆虫は変態することによって、生活圏を著しく拡大することが可能となった。

昆虫の成長と変態の調節機構の鍵は、ホルモンなどの内分泌物質にあり、これによって各種の生化学的機構が調節されている。昆虫ホルモンについては、日本でカイコを材料とした先駆的研究がある。脱皮ホルモンと幼若ホルモンのような、脂溶性のホルモンの研究が先行してきたが近年は、水溶性のペプチド・ホルモンの研究が進み、現在では前胸腺刺激ホルモンや脂質動員ホルモンを、はじめとしたペプチド性内分泌生理活性物質が明らかになっている。

これらのホルモンは、昆虫の成長だけでなく、いろいろな生体内の生理的過程の調節に関与し、これらの化学構造と機能は、人をはじめとした哺乳動物の内分泌物質との対比で注目されている。これからも、各種の活性ペプチド等の生体機能を、調節する活性物質が昆虫から発見されると考えられ、この方向への研究の展開が期待されるとともに、構造の解明された物質については、その作用機構を分子レベルで明らかにする方向へと進むことになるだろう。

昆虫ホルモンなどの内分泌物質は、生体内濃度を制御することで、成長・変態を人為的に制御することが可能となる。ホルモンとその関連物質の一部は、すでに害虫の防除剤として市販されており、この方向への開発的研究は今後一つの目標となる。また有用昆虫に対しては、その発育を人為的に制御することによって、特に、カイコにおいては上簇を一斉に行わせることによって、作業の効率化を計る技術が樹立されようとしている。

昆虫の成長との係わりでのもう一つの大きな特徴は、過酷な環境変化を予知した生理的対応であり、温帯に生息する多くの昆虫は、四季に応じ日長の変化を読み取って休眠を行う。また、熱帯の昆虫でも雨期や乾期などの気候に適応して休眠を行っている。休眠という現象は、悪環境でのエネルギーの損失を、最小限にする昆虫の知恵であり、休眠間発達という特殊な過程を除く、全ての生化学的過程を限りなく零に近づけて、生命を長期間保持し、やがて再来する好適な環境を待とうとするものである。この現象は、疑いなく昆虫に繁栄をもたらした秘密の一つであり、その生理、生化学的過程の解明は、休眠できるという能力を全く持たない人間に対して大きな夢を与えてくれる。

## 6. 有用物質の生産機能

昆虫は、いろいろな有用物質を生産することで知られている。特にカイコの生産する絹糸と、ミツバチが生産する蜂蜜は有名であり、それぞれが産業として確立している。これらの他にも多様な有用物質を生産しており、古来からいろいろの用途に用いられている。例えば、

特殊なカイガラムシの生産する色素や虫体保護物質は、ワックスやシェラックのように、一部の国で重要な産業としての地位を占めている。ラックカイガラムシの分泌するシェラックの、人類による利用には2千年の歴史があり、現在でもタイ国の重要な産業の一つとして、野外飼育が行われている。

古来、多くの昆虫がいろいろな国で、生薬として利用されており、その効用については、近代科学による検証を必要とするものもあるが、なかには検証の結果、その価値が認められているものもあり、今後の研究対象として魅力的な分野となろう。近年、天然素材の良さがいろいろな場面で見直されているが、さらに特異な生理機能を持つ、天然生理活性物質の利用を思えば、180万種とも言われる昆虫は、そのまま貴重な生物資源と考えることができる。まだまだ未開拓の有用物質が秘められている可能性は大きい。

昆虫を食品とすることは、日本でもイナゴやジバチを始めとして、いわゆる珍味が多いし、東南アジアでも多様な昆虫を食糧として利用している。今後の興味ある方向は、昆虫の卓越した増殖能力と、昆虫成体分の高い栄養的価値を利用した道であると思われる。

## 7. 昆虫と他生物との相互作用

昆虫と他の生物との係わりについては、有用植物と害虫との関係のように、昆虫を防除の対象として扱ったり、また、生態系の構成生物として、他の生物との係わりのなかで取り扱われてきたことが多い。しかし昆虫による花粉の媒介は、一部の農作物の生産には大変重要で、これまでもいわゆるポリネーターの有効利用に関する研究が行われている。

今後は昆虫の花粉媒介行動に係わる、各種の要因を詳細に解析することにより、いろいろな条件に応じた多様なポリネーター利用技術の開発や、媒介昆虫の機能そのものを強化することも可能となろう。

昆虫と微生物との関係では、これまで病原微生物との係わりが、害虫に対する天敵微生物の有効利用の視点や、害虫の病気の予防、治療の視点から研究されてきたが、この分野の研究の重要性は今後も変わらないし、むしろ害虫の生物的防除の開発との関連で、ますます重要となってくるであろう。

一方、病原微生物と宿主昆虫との相互作用は、有用物質生産への利用も計られている。例えば、カイコの核多角体ウイルスでは、遺伝子工学的手法によって、有用物質生産遺伝子を導入することが容易で、これを幼虫に接種することによって、人間の癌の特効薬と言われるインターフェロンを、大量に作らせることが可能と成った。これまでは、大腸菌などの微生物を利用する方法が主流であったのが、大型昆虫を利用することによって急速な進展が期待されている。

## 8. 昆虫の新利用技術

前述のように、昆虫の持つ多種、多様な生体機能は、計り知れないものがある。これらの機能を人類のために利用する技術について、2～3の具体例を挙げて考えてみたい。

### 1) カイコによるインターフェロンの製造

カイコが吐く絹は従来、主に和服用が主体であった。最近では、外衣、中衣、下着類からレッグ用品までの、幅広い分野に新規用途の道が拡大されつつある。一方、絹は衣料以外にも手術用の縫合糸などに使われていたが、最近、化粧品や医療面の分野での利用が、大いに注目されてきている。

例えば化粧品では、粉末にして洗顔用にしたり、シャンプーやリンスにはすでに利用されていたが、絹の被膜を利用して、パーマメントで痛む髪を守るトリートメントが、開発されようとしている。特に医療分野では、絹フィブロインの膜が、酸素の透過性が極めて良い性質を利用して、コンタクトレンズに、また生体との適合性に優れていることから、人工皮膚や人工血管などの利用面で、大いに期待されている。さらに、たんぱく質の特徴を生かして、バイオセンサーやバイオリアクターとして利用し、患者の癌細胞から出る酸素、血液、尿などの成分を定量して、診断技術に応用する研究も行われている。

特に、カイコの利用で最も注目されているのは、松本市出身の前田進博士の功績で、遺伝子工学の手法を使って、人間の癌の特効薬といわれているインターフェロンを、カイコの幼虫に大量に作らせることに成功した。この技術は最初、アメリカで成功したが、人体中の微量な有用物質を細菌類ではなく、昆虫において百倍の効果で作らせたのは、世界で初めての業績で高く評価されている。

### 2) シロアリはたんぱく質の宝庫

今まで害虫としてしかみられなかった昆虫にも、一転して益虫としてのスポットライトが当てられようとしている。その代表例として、木造家屋の敵、シロアリに熱い期待がよせられている。シロアリが木材を食べて繁殖するのは、木材に含まれるリグニンを溶かす共生微生物の働きによるもので、この微生物の分解機能を利用して木材を分解し、それで、たんぱく質やアルコールを作ろうと試みられている。

世界的な食糧危機がきたら、三大栄養素の内、最も不足するのがたんぱく質と言われている。脂肪は貯蔵しやすいし、炭水化物はジャガイモのように、悪条件下でも育つ植物によって補給できる。ところが、たんぱく質は牛肉や魚を食べることによって、牧草や植物プラン

クトンに含まれているものを摂取するしかない。シロアリは、木材に含まれているセルロースを、たんぱく質に変えてしまうということは、木材が全く新しいたんぱく質供給源になるということである。シロアリは、一匹では体長3mm程度の虫に過ぎないが、同じ面積に生存できる個体の総重量は、動物のなかでは最も重いと言われ、限られたスペースで大量に飼うことができるので、シロアリは無限のたんぱく質の宝庫として、害虫から一転して益虫としての、丁重な扱いを受ける日のくることを望んでいる。

### 3) ゴキブリはボケ防止薬

台所の嫌われもののゴキブリも、人間のボケ防止薬として、貴重な実験材料である。ゴキブリはことに、神経伝達機能のメカニズムの解明に好都合な昆虫である。昆虫の神経細胞は、1万~10万個で人間の百億個に比べれば、はるかに少ない。しかし基本的な機能は、人間とそんなに変わりはない。ゴキブリは昆虫の中では、脳が大きい特徴がある。そこでシナプスと呼ばれる神経の接合部では、アセチルコリンという化学物質が、脳からの命令を伝達する働きをしている。

この物質は、一日働いたら消えてしまう。このようなメカニズムの解明は、筑波大学を中心に進められている。人間の神経疾患には未知の部分が多いが、ゴキブリによる研究成果は、21世紀の人間の最大の問題になるといわれる、老人性痴呆症の治療面で、大いに役立つと考えられる。

### 4) ウンカから抗生物質

昆虫から新しい抗生物質を、取り出すことも注目されている分野で、虫は抗原抗体反応、つまり免疫機能を持っていないが、それなのに、なかなか病気にかからない。すなわち体内にいる共生微生物が、抗菌作用を持っているからだといわれている。

この分野でのパイオニア的存在は、農林水産省の研究者ですでに、ウンカから数種類の抗生物質を確認している。こうした抗生物質が、果たして何に効くのか、また副作用があるのかについては分かっていない。新しい医薬や農薬の実用化には、少なくとも8年の歳月と60億円の開発費がかかると言われている。

### 5) ハエのお陰で人間長寿

昆虫の利用法として、虫の大きさを人為的にコントロールすることもできるようになっている。ホルモンによって脱皮を早めれば小さい成虫ができ、逆に脱皮を遅らせると普通より

大きい成虫となる。カイコでは、すでにこの手法で鶏卵大の繭も作られている。また小振りのチョウでペンダントを作ったり、カブトムシを大きくして、置き物としての利用法も考えられる。

さらに、アブやハチの行動機能を計画的な授粉や摘花に利用したり、よく熟した果実を判別して汁を吸うアリの一種、アケビコノハを成熟センサーに活用するといった試みも着手されようとしている。

最近、昆虫の利用に関する素晴らしい業績が発表された。信州大学医学部の米村勇講師グループによって、キイロショウジョウバエの寿命がわずか6個の遺伝子で、支配されていることを突き止めたのである。この遺伝子を操作して、長寿のハエを作り出すことも間もなく可能になるという。

一方、人間の遺伝子の研究も進められており、ハエのお陰で人間が相当、長生きできるバイオテクノロジーの手法が可能になるかもしれない。

以上のように、最近の昆虫機能に関する研究成果は、まさに21世紀に向けて全く想像もできないような、夢を実現させてくれるものと思われる。一寸の虫から新しい産業が誕生することを大いに期待したい。

#### 参考文献

- 1) 井上 元 (1986) バイオテクノロジー研究会講要
- 2) 桑野栄一・八木繁実 (1987) バイオ農薬・成育調節剤
- 3) 前田 進 (1985) 細胞工学、4
- 4) 志賀正和 (1988) 植物防疫、42
- 5) 清水利昭・八木繁実 (1988) 生物科学、40
- 6) 鈴木義昭 (1986) バイオテクノロジー研究会講要
- 7) 田村俊樹 (1988) 動物研究会講要
- 8) 山下興亜 (1988) 化学と生物、26