

近年のフェロモン研究、昆虫機能研究の動き

独立行政法人 農業生物資源研究所 川 崎 建次郎

1. はじめに

近年環境問題や食の安全に対する国民の関心の高まりを受けて、農林水産省はIPM実践指針を策定している。IPMの実現には要素技術の開発が不可欠だが、要素技術の1つであるフェロモンの利用は2つの利用場面がある。まず発生予察の手段で、発生時期のモニターに使われている。また防除手段として交信かく乱製剤が市販されて利用が進んでいる。また天敵の利用は、害虫防除において最も重要な手段の1つだが、天敵の行動制御にも寄主昆虫のフェロモンが利用可能な場合があることが示されている。一方で、最近のゲノム研究の発展はめざましく、昆虫類においてもショウジョウバエ、カイコ、ミツバチ、コクヌストモドキでゲノム解読が行われ、その他にもいくつかの種類でゲノム解読が進展している。ヒトのゲノム情報は、医薬品の開発に大きな影響を与え、またヒトの遺伝子情報の変異に基づいた個々人に合わせた医療の実現も目標とされている。昆虫では最初に解読され、利用の歴史の長いショウジョウバエのゲノム情報は、基礎科学での利用はめざましいものがあるが、農業への応用場面では昆虫制御剤開発の他はそれほど利用されてきていない。これに対し、カイコではフェロモン受容タンパク質や、カイコ濃核病ウイルス抵抗性遺伝子(nsd-2)の配列が解明され、BT抵抗性遺伝子の解明が進むなど、ゲノム解読の成果は害虫防除関連研究にも大きく影響を与え始めている。そこで、ここでは、フェロモン研究を中心とした行動制御物質の利用と、ゲノム情報を利用した昆虫機能研究について述べる。

2. フェロモン研究の最近の動向

カレントコンテンツのデータベースで、2006年から2009年(実質3年間程度)の期間の昆虫とフェロモンのキーワードで検索される論文は123件であった。タイトルからフェロモンの同定の論文に分類されたものが18件あり、分類群の内訳では鱗翅目7、鞘翅目6、半翅目3が主なもので、甲虫類では集合フェロモンが半数を占めていた。フェロモン生合成関連の論文も17件と多く、合成酵素の解析、酵素の遺伝子配列解析、フェロモン生合成活性化神経ペプチド(PBAN)の遺伝子解析やレセプター解明などが主なところであった。反応行動関連が16件、合成関連が11件、個体変異に関するものが8件でその他いろいろな報告が行われている。この中で性フェロモンの生合成研究は、ゲノム情報を利用することによって、研究が加速化される分野であり、現在のゲノム解析の状況を反映しているといえる。国内では、今年の応用動物昆虫学会大会の発表タイトルで見ると、フェロモン関連で37件の発表があり、応用につながるトラップ関連の発表が一番多くて10件、同定の発表が5件でその他にいろいろな発表が行われている。フェロモン腺で発現している遺伝子の解析や生合成関係は合わせて4件で、国内でもフェロモン分野でのゲノム情報の利用は進みつつあるように思われた。

3．フェロモンの農業への利用

フェロモンのうち、利用が進んでいるのは性フェロモンが中心であり、発生予察用の誘引剤としての利用と、交信かく乱剤による防除が行われている。発生予察への利用は、予察灯と異なり、特定の種を捕獲でき、電源もいらないことから有効な方法であり、現在植物防疫協会から 39 種の誘引剤が供給されている。そのうち 28 種がガ類でカイガラムシ用 2 種、コガネムシやカミキリ等は 7 種あり、アカヒゲホソミドリカスミカメ、チャバネアオカメムシ用も市販されている。

交信かく乱剤は、1 種類の害虫を対象とするものもあるが、同じほ場に同時に発生する 2～6 種の害虫を対象としたものが主力となっている。性フェロモンの交信かく乱剤は、ごく近縁の種および共通成分をフェロモンとしている種には影響を与えることになるが、天敵のようにグループが異なる昆虫には影響が出ないと考えられ、環境影響が非常に小さい防除技術ということが出来る。交信かく乱剤の問題点としては、大面積で使用しないと効果が出にくいこと、斜面など空気と比較して比重の大きな気化したフェロモンが失われやすい場所では効果が出ないことが上げられているが、性フェロモンが同定されていても合成が難しくコストかかるものは製剤化が実現しないことがフェロモンの利用を期待するユーザーにとって大きな問題と思われる。

4．寄主または餌昆虫が放出するフェロモンと天敵昆虫

天敵昆虫は様々な方法で寄主または餌を発見しているが、植物が放出する物質によって天敵の行動が引き起されるものの他に、寄主昆虫の放出するフェロモンに天敵昆虫が誘引されて集まる現象が知られている。これは寄主昆虫のフェロモンを天敵がカイロモンとして利用しているもので、天敵が確実に寄主または餌を発見する手段として合理的な手がかりを利用していることになる。天敵が寄主昆虫のフェロモンに誘引される現象は広く存在するようで、寄生蜂類だけでなく捕食者のハナカメムシも誘引されることが報告されている。天敵が寄主や餌を発見する手がかりとしては、性フェロモンだけでなく、集合フェロモンも利用されている。国内では、カメムシ類の卵寄生蜂がカメムシのフェロモンに誘引される事例の報告が行われている。このような寄主や餌のフェロモン成分による天敵の行動制御は、次に述べる植物成分による天敵類の誘引とともに IPM に有効な手段と思われる。

5．植物由来の揮発性物質による天敵昆虫の誘引

植物が害虫に加害されたときにボディーガードとなる天敵を呼ぶために SOS 信号を発信する、として有名なのは植物、害虫、天敵の 3 者の関係（3 者系）の中で、害虫によって加害された植物が普段は放出しない化学物質を放出して天敵を誘引するというものである。放出される物質は、カイロモンとして天敵の行動に作用し、定位行動を引き起こす。放出される植物成分は単一成分ではなく、複数の成分が生産され、その組み合わせが誘引の必須である場合もある。この 3 者系は研究の歴史は 20 年以上になるが、商品化された技術にはなっていない。しかし最近コナガサムライコマユバチを効率的に防除するためにコナガに加害された植物から放出され、コナガサムライコマユバチを誘引する揮発性物質を利用した防除剤が開発され、実証試験が行われて有効性が確認されている。

6．害虫・天敵の行動制御とIPM

いままで、昆虫由来のカイロモン（寄主や餌のフェロモン）と植物由来のカイロモン（加害された植物の揮発性成分）が天敵の行動に作用することを述べたが、その他に成虫が蜜源などの餌を探す手がかりとする匂い成分は天敵の行動制御物質となる。また、害虫で寄主植物発見に匂い情報を利用するものもある。昆虫の行動を制御する因子としては、別の話題提供にある光（色彩）情報、および音波（音）は揮発性物質とともに遠距離から昆虫の行動を変化させる情報としての機能を持っている。また、至近距離に来て対象に触れることができれば、接触刺激物質も機能することができる。このように、昆虫はいろいろな手がかりで環境の情報を得ているが、その中でも化学物質は昆虫が情報として広く利用しており、行動制御を行う素材としては重要性が高い。天敵をめぐる生理活性物質研究は天敵そのもののフェロモン研究と並んで、IPM素材開発において今後発展できる可能性のある分野のように思われる。

7．利用できる昆虫のゲノム情報

ゲノム情報で農業場面の応用研究に何ができるのか、ということはわかりにくいですが、現在利用できる情報は、カイコを例にすると次のようなものがある。全ゲノムの配列情報、体の中で発現している遺伝子の一部を集めてきたESTライブラリー、発現している遺伝子の全長を取ってきてタンパク質として発現させることができる完全長cDNAライブラリー、遺伝子のゲノム配列の位置を解析する手がかりとなるマーカー情報がある。遺伝子を探索するときには、ゲノムを断片化して大腸菌に組み込んだBACライブラリーも利用可能である。また、マイクロアレイも開発されており、体の中で今どの遺伝子が発現しているかを知ることができる。それに加えてカイコでは遺伝子組換え技術も進歩し、遺伝子機能を特定することができるようになっている。このような情報やツールを用いることにより、遺伝子の探索・同定や機能解明が以前に比べると格段に効率的に進むようになってきている。

8．ゲノム情報の害虫防除への波及効果

ゲノム情報の害虫防除への波及効果は、このフォーラムの前後に開催される公開シンポジウム「ポストゲノム時代の害虫防除研究のあり方」と重なるので、項目のみを述べたい。まず、ゲノム情報から機能遺伝子を明らかにして、遺伝子発現産物の持つ生理機能を明らかにして利用するものがある。機能遺伝子とその作用が明らかになると、その操作に結びつけることができ、新規農薬開発等につながることもある。また、昆虫病原微生物の感染、昆虫媒介病原微生物と昆虫との間の感染、媒介機構の解明、昆虫の薬剤抵抗性発達機構の解明など、現象の生理的基礎情報の利用が期待される対象も数多くある。また、DNAマーカーの開発は、形態分類の難しい種や地理的系統の識別だけでなく、放飼した天敵系統の検出や、天敵の餌種の識別も可能となってきた。さらに、遺伝子組換え技術の開発は、組換えによる新たな病虫害抵抗性形質の付与を可能とするだけでなく、新たな害虫の遺伝的防除法の開発にもつながる。

フェロモンについて考えると、フェロモンなどの生理活性物質が作用するときは必ず受容体に物質が結合し、次の生理的メカニズムが働くことになる。たとえばフェロモンであればフェロモン分子が感覚毛にある受容タンパク質と結合し、神経の興奮が引き起こされて中枢の脳に情報が伝達されることになる。この受容タンパク質の遺伝子も同定されれば、大腸菌等で受容タンパク質の生産が可能となり、このタンパク質を利

用してフェロモンより安定性が高く受容体と結合する分子が開発され、より効率的な交信かく乱技術が開発される可能性はあると思われる。

9．お わ り に

今までいくつかのことを述べてきたが、何がどう技術につながるのかは、実は今後の研究の進展次第というところもあり、はっきりとはしていない。しかし、現在の害虫防除は害虫をあるポイント（ほ場）で殺す殺虫剤と、生物間の相互作用で害虫を減らす天敵や抵抗性作物、そしてフェロモン等によって行動を制御して効果を得る方法の組み合わせで進められている。これらの組み合わせの要素は、お互いに関係を持つ場合と独立に作用する場合がある。この関係を意識して相乗効果が得られるものは相互関係の強いもの、相反する効果を持つ場合は独立性の高いものを組み合わせるといったことが必要と思われるが、その判断を行うためには知見の蓄積が必要となる。