

綜 説

Feasibility of Insect Control by the Use of Sex Pheromones. Shozo TAKAHASHI (Pesticide Research Institute, College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto, Japan).

昆虫フェロモンを利用した害虫防除 高橋正三 (京都大学農学部農薬研究施設)

1. はじめに

昆虫は、同種の他の個体との情報伝達 (communication) の一手段として、化学物質を使用していることは、よく知られている。化学物質による情報伝達に使われる物質がフェロモンとよばれている。フェロモンのうちでも直接に交尾に導くような化学物質、例えば、メスの分泌する物質に刺激されて同種のオスに交尾行動を起させるようなものを特に性フェロモンと呼んでいる。したがって、移動し始め、さらにフェロモンに近づき、近接地域内での行動を起し、交尾を可能にする一連の刺激をおこさせるものをいう。本稿では新しい害虫防除法として性フェロモン (その多くは、メスが分泌してオスに交尾行動をおこさせる) の利用が叫ばれているのに、どうして実用化が進まないのであろうかという問題を中心にして、その実際利用の面について検討を加えてみたい。

永年の殺虫剤の使用により、かえって農作物に多大の虫害が発生し、大きな経済的損失をこうむった例はいくつかある。この原因は、農薬がある特定の害虫にだけ作用するのではなく、いわゆる無差別攻撃をするため、農業生態系に異変をきたし、天敵などをもまた殺す結果をもたらしたためである。この問題を克服せんとして、総合防除法 (integrated control) が提唱されている。これは可能な限り生物、化学、物理的方法、栽培法などのすべてあるいは二つ以上の方法を組み合せて、おのおのが単用された以上の総合効果をもたらそうとするものである。総合防除法においては、生物的防除法が中心になるべきであるが、効果を拡大するのが選択性薬剤の使用である。この選択性薬剤とは単に哺乳類と節足動物との間の選択性にとどまらずにさらに節足動物間の選択性をも問題にするのであって、現行の殺虫剤には多くを期待できない。その点では、昆虫のフェロモン、ホルモン、忌剤、食餌阻害剤、不妊剤の研究に大いに期待されてよいし、総合防除法の中の化学的手段として、重要な位置を占めるであろう。

2. 昆虫の性フェロモンによる情報伝達に影響を与える諸因子

多くの昆虫は、性フェロモンによって、交尾に必要

な情報伝達をし、種属を保存してきた。この情報伝達はその種に固定した行動であり、本能的なものである。もし、これを人為的に乱すことができ、昆虫がそれにとって代る手段を使うことができないならば、害虫防除に利用することができるであろう。人為的にこの種の情報伝達を乱す手段を考案するには、まづ性フェロモンによる情報伝達に影響を及ぼす生理的因子及び環境因子を解明していくのが良い手段を見いだす道であろう。

A. 性フェロモンによる情報伝達に影響する生理的因子

(i) 令と性フェロモン生産量：昆虫の1個体全体あるいは性フェロモン分泌腺を含む昆虫の体の一部を抽出して、種々の定量を行ない、フェロモンの生産量を推定している。カイコについては、すでに羽化5日前の蛹に性フェロモンの存在がみとめられ、羽化時には最高量をもつことが報告されている¹⁾。ヤガについては、羽化後2日以内にたいいて交尾し3日目以内に殆んどが体内に受精卵をもっていることが観察されている²⁾。

(ii) 令と発散量：分泌腺に存在する量、厳密にいえば抽出できた量は、実際に空気中に発散される量とはいえない³⁾。メスがオスに反応をおこさせるために、どのくらいの量をどのような時間間隔で発散しているのかを、各種の昆虫について知る必要がある。これによって適切な発散量の調整を人工的に行なうことができる。生産されたフェロモンがすべて腺に貯わえられるのではなく、前駆物質の形で貯わえられ発散時にフェロモンの形になることもあろう。このことは、カイコ、codling moth について、遊離型のフェロモン、前駆物質としての結合型フェロモンをそれぞれ単離、定量することによって示されている⁴⁾。

(iii) 令と性フェロモンに対する反応：発散された性フェロモンに、オスが一番高い感受性を示す時期はいつか。イラクサキンウワバ cabbage looper のオスでの観察では、羽化後1～2日目に最も高い感受性を示す⁵⁾。このことは、羽化後2日目に殆んどが交尾することとよく一致している。

(iv) フェロモン生産量及び感受性に及ぼす交尾の影響：交尾したメスでは処女メスよりもフェロモン生産量が少ないとかオスではフェロモンに対する感受性が

劣るということは一生に多数回交尾する昆虫、一度しか交尾しない昆虫によって異なってくる。交尾したメスは、オスをもはや刺激しない種類は一生に一度しか交尾しないものに多い。マイマイガ gypsy moth では一生に一度だけ交尾し、交尾後はオスを誘引しない⁶⁾。Cabbage looper では、羽化後一夜に一度数日間にあたって交尾するが、交尾してから3時間後のオスと未交尾のオスについて室内でのフェロモン感受性試験をすると、前者は後者の10⁴倍量のフェロモンを要するという⁶⁾。スジマダラメイガを交尾させてから、1時間毎にメスを抽出してそのフェロモンの含有量を調べると4~5時間後から急激な減少がみられ24時間後には消失していたという結果も報告されている⁷⁾。

(v) フェロモン発散とホルモンの関係：フェロモンの発散をアラタ体ホルモンが制御しているということが、ゴキブリなどについて実験的に示されている⁹⁾。成虫期の短いヤガなどでは羽化後すぐ交尾するものが多く、ホルモンによる制御は認められないが、成虫期の長いゴキブリなどでは性周期がホルモンに制御されていると考えられている⁹⁾。

(vi) Circadian rhythm の影響：Circadian rhythm の観察は、フェロモンによる行動がいつ起きるか、いつ防除上の努力をなすべきか、近縁種が生殖上どのようにして他種から隔離されているかなどの問題を知る上から重要なことである。

フェロモン生産量と circadian rhythm の関係は、7種のヤガについて調べられた。羽化後3, 4日後の成虫メスの腺のフェロモンの量は24時間のうちで変動しないことが見出された。このことから、生産量に circadian rhythm の影響がないとみなされるし、成虫は或る一定量のフェロモンを常に貯わえているといえる⁹⁾。しかしフェロモンの発散量は circadian rhythm によって調節されており、オスがメスに近づく時間が昆虫の種類で一定していることでもわかる。これは一日の明期暗期に同時調整されたリズムである。

一方、オスのフェロモンに対する反応と circadian rhythm の関係を調べるには、12時間明期、12時間暗期下に保ちメスの抽出物などを使って、暗期下でのオスの反応を調べる。ヤガでは初めの暗期5~6時間後にオスが強い感受性を示し、その24時間後に次の感受性を示す時期が来るが、感受性は初めの約半分に低下する⁹⁾。

(vii) 性フェロモン感受性に対する順応(adaptation)の影響*：種々の昆虫において、性フェロモンに一度

さらされたオスは、再度のフェロモンに反応を示さなかったり、反応しても非常に高濃度を要することが観察されている。これは一種の順応によるものと考えられている。昆虫の種類によっては、この効果の持続する時間が24時間以上のものもあるが、比較的速く感受性をとりもどすものもある。この生理現象が性フェロモンを防除法に使用できる根拠の一つであり、室内テストを計画する上にも重要な点である。Shorey らは、ヤガについて次のような実験を行なっている¹⁰⁾。例えば10匹1組の cabbage looper のオスの90%以上が反応するようなフェロモンの濃度をもった空気 (2×10^{-12} g/l) を5分間与えて、30秒毎の変化をみると最初の30秒後には70%の反応率で、1分後には80%の最高値を示し、漸次減少し4, 5分後には30%におちる。もう一つの実験では、予じめ30秒間 10^{-7} g のフェロモン (約0.1匹相当量) にさらしたオスの cabbage looper (10匹1組) の10分、30分、60分後のフェロモンに対する反応を BR_{50}^{**} で示すと第1表のようになる⁹⁾。この表から60分後でも、無処理の BR_{50} の10倍量を要することがわかる。

第1表

10 ⁻⁷ g のフェロモン施与後の時間 (分)	BR ₅₀ (g)
10	3×10^{-9}
30	4×10^{-11}
60	6×10^{-11}
無処理	6×10^{-12}

このような順応は、感覚器官のレベルで起っているものと考えられる。このことは、EAG (electroantennagram) を使って実験もされているが、数秒から1分以内ですでに恢復した反応を示す¹¹⁾。

ヤガについては、室内生物試験に使用できるオスは羽化後2日目からで、しかも同一個体は一日に一度だけ使用するのが正確な方法である^{9, 12)}。

このような順応の現象が cabbage looper の交尾活動を妨げていることを証明する実験が報告されている。2リットルの密閉した容器に cabbage looper のオス、メス各10匹づつとじこめて、種々の濃度のフェロモンを加え、翌朝メスの交尾嚢 (bursa copulatrix) に精包 (spermatophore) が存在するかどうかを調べる。その結果を第2表に示した¹²⁾。

** BR_{50} (Biological Response 50); 1グループの50%のオスに反応をおこさせるのに要する薬物量。反応率は次式で求める。 $\frac{(R-B)}{10-B} \times 100$ 。ここで R;

試料にさらして15秒、30秒後に反応したオスの数の平均値。B; 試料にさらす前にすでに反応している数。

* Adaptation を“順応”と訳したが、必ずしも適確ではない。ここで使う順応には、知覚の鈍化という意味を含んでいる。

第2表

加えたフェロモン($\mu\text{g/l}$)	交尾した数(%)
0	18
5	24
50	2
500(すべて気化しなかった)	0

このように高濃度の性フェロモン蒸気の下では、交尾で妨げられることが、実験室的に成功している。この野外試験については、後述する。

B. 性フェロモンによる情報伝達に影響する環境因子。種々の昆虫について、一年のうちいつ頃発生し、いつ交尾し、それに自然条件がどのように影響するかを観察することは、性フェロモンの室内テストの良い条件を見つけたしたり、野外防除を実施する上で重要なことである。

(i) 風速の影響：多くの昆虫が正の anemotaxis (走風性) を示すことが知られている。昆虫が性フェロモンを含有した風に向うときの風速に適正な速さがあるに違いない。例えば、ミツバチでは 0.5m/sec. の風がないときには性フェロモン源に誘引されないという¹³⁾。また、数種のヤガについてその室内テストで 5l/min. が適正な空気の流れであることが判明している¹⁴⁾。いずれにせよ、これらのことから正確な室内での生物テストを行なうには、その種の昆虫について適正な風速をみつければならない。

(ii) 気温の影響：ある温度以上、あるいはある温度以下では性フェロモンに対する感受性を失ってしまうことが知られている。しかし、これは発散するメスの側に影響があるのか、オスの感受性自身の低下かを見極めることは困難である。

(iii) 相対湿度の影響：気温が適温ならば、相対湿度の影響は小さい。

(iv) 光度の影響：夜行性の昆虫は、明るさによって性フェロモンに対する感受性が阻害されることが、ゴキブリなどで観察されている¹⁵⁾。ヤガでも、同様なことがみられ、 0.3 ルックスでの生物試験では性フェロモンに対する感度は、一万倍の差がある⁹⁾。結局、ヤガの生物試験には満月時の明るさに相当する 0.3 ルックスが適当とされている。

3. 昆虫の性フェロモンへの定位 (orientation) のメカニズム

生きているメスそのものあるいは、メスの抽出物などの性フェロモン源に対して、ある距離からマークをつけたオスを放して、到達する数を観察して何キロメートル誘引されたという報告がある¹⁶⁾。この方法では、果してどれくらいの距離を単に飛翔し、どれくらいの

距離を性フェロモンに刺激されて飛翔したかを見極めるのが難しい。トラップの設置には、風向きを考慮しなければならないことからある距離は、単に風に向っての飛翔であろうと考えられる。最近 ^3H でラベルした Bombykol による実験でカイコのオスの50%を刺激する量が 5cm 離れた1匹の頭にあたる量を求めている。それによると1本のアンテナ当り $14,000$ 分子以下であるという¹⁷⁾。このように微量の Bombykol で充分刺激できるが、全く静止した空気中でのカイコのフェロモンに対する感受性はあまり強くはない。

従って、ここでは近距離内での定位のメカニズム、遠距離の場合の定位と二つにわけて、考察してみる。(i) 近距離での定位：化学物質の濃度勾配が空気中で均一に同心円を描いて広がっていくような状態はあり得ないが、もしあるとすればこれを外側から感知して物質源に到達するのが正の chemotaxis である。したがって、このような定位で、昆虫が性フェロモンに誘引される距離は恐らく数 cm から数 m であろう。飛翔力のある昆虫あるいは羽ばたく昆虫は、フェロモン源のまわりを飛び廻ったり羽ばたいて廻りながらさらに近づこうとする。これがいわゆる“ダンス”であって、これにより空気の流れを前方より後方へおこして、アンテナによる感知をしやすくしている¹⁸⁾。

(ii) 遠距離よりの定位：昆虫が性フェロモンに定位するときは、必ず風下より接近するという。この空気の流れに向っていくのが正の anemotaxis (走風性) である。はじめに性フェロモンに刺激されるが(正の chemotaxis)、定位していくのは、風上に対してであって、決してフェロモン源へではない。したがって、フェロモン源への到達にはジグザグのコースをたどることになる¹⁹⁾。

4. 性フェロモンによる害虫防除法。

性フェロモン利用の防除法には、現在大別して二つの方法が考えられている。その一つは、害虫の発生状況調査であり、その二は、昆虫の性フェロモンによる行動を制御する方法によるものである。

A. 発生状況調査。生きているメスそのものや、オスの抽出物あるいは化学構造の判っているものについては、合成したフェロモンを誘引源としたトラップを使用して害虫を捕捉しその発生数、地域を知ることができる現段階では、発生数の多いと判った地域のみで殺虫剤の散布を計画できるし、発生数の調査を続けた結果、経済上問題となる数にまで増加したとき、はじめて殺虫剤の散布をしてもよい。さらに、捕捉数から次の世代に達するであろう個体数との相関関係が判っているときには、次期の防除対策をねる上に非常に有利な手段である。

ここで、トラップを設置して、果してどれくらい捕捉できるか、あるいは捕捉に影響する因子にどのようなものがあるかについて、項を改めて考察したい。

B. 昆虫の行動を制御する方法。この方法の根本は、昆虫個体間の情報伝達をいかに制御するかということであろう。これには、自然で性フェロモンを発散しているメスと競争できるくらいのフェロモンをトラップから人工的に発散して、オスを捕捉する方法、生きたメスが発散するフェロモンを、オスが感知できぬほどの高濃度のフェロモンを人工的に発散する方法の二方法が考えられる。前者には、トラップが必要で後者では、トラップは必要としない。

(i) トラップを使用する方法：発生状況調査の場合と同様なトラップの使用が考えられる。粘着剤の使用によってオスをできるだけ多く捕捉して、その野外の個体数を減少し交尾できないメスを多く残すという方法である。この他に、フェロモンの作用に影響しないような揮発性の殺虫剤を使って誘殺することもできる。しかし、効果を拡大する方法として、トラップで捕捉後に不妊剤を与えて、また野外へ戻す方法が考えられる。これによって、効果を増大することができよう。ここで不妊剤の使用がフェロモンに対する感受性に影響を与えていないかどうかを確かめねばならない。これについては、tepa の入った餌を食べた cabbage looper のオスの感受性がおとろえたということが報告されている²⁰⁾。しかし、オスに tepa をスプレーしたときには、特に変化はみられなかったという。この点については、個々の昆虫について、實際化の前に充分検討する必要がある。

トラップ使用の防除法は、種々の利点があるとして試みられているが、残念ながら成果が上っていない。その一つの原因に純品の性フェロモンを使用できる害虫の種類が少なかったことがあげられる。生きているメスを誘引源にするときには、一日のある時間帯あるいは、ある自然条件下でのみフェロモンを発散し、それを制御することは難しい。しかし、純粋なフェロモンを使い、蒸発量の調節ができるならば、ある程度いつでもトラップに誘引源として使うことができる。したがって、適正濃度を常に保って、野外のメスに常に打ち勝つように工夫する必要がある。しかし、高すぎるときには、前章に述べた順応によって、トラップへの接近が乱される。このことについては、トラップのデザインを工夫することによって、ある程度補われる。

性フェロモントラップに black light を併用すると、それぞれ単用の場合よりも約20倍のヤガのオスを誘引できたという報告がある²¹⁾。フェロモンの刺激が black light にさらに接近させる作用をしていると考えられる。次期世代を減少させる目的でのこのトラッ

プの使用は、有効な手段であろう。

(ii) トラップを使用しない方法：ある種の性フェロモンをその発生数の多い地域にかなりの高濃度で保つことにすると、それに対してオスは、どんな行動を示すであろうか。至る所にフェロモンがあるために、メスの自然に発散しているフェロモン源を感知できないのであろうか、あるいは一旦フェロモンを感知すると順応がおきてある時間、同程度の濃度のフェロモンを感じなくなったり、ある時間後に、非常に高濃度にやっと感知できるようになるのであろうか。フェロモンの防除への利用という見地から、メスの自然に発散しているフェロモン源を感知できなくなるという考え方は、オスのこん迷 (confusion) にその原因があるし、高濃度のフェロモンにさらされたために、メスのフェロモンを感知できなくなるという考え方には、オスの順応 (adaptation) または抑制 (inhibition) という原因をあげることができる²²⁾。順応の現象については、Shorey らによって、ヤガを用いて詳しく実験され、こん迷によるという考え方の誤りが指摘されている^{10,23)}。

ここでは、まづ報告されている野外試験の例をあげてみる。その一つは、ニュー・ハンプシャー州のある湖の中の400エーカーの島のマイマイガの防除の実験である。Gyplureの液剤あるいは粒剤を空中散布したが、オスの交尾活動には、何らの影響を与えなかったという。実験の詳細は不明なので、その原因を推論するのは困難だが、散布したgyplureの濃度が低すぎたのではないかと考えられる²⁴⁾。もう一つの例は、南カリフォルニアで、cabbage looper について行なわれたものである。この野外試験の根拠は、実験室での順応試験である。種々の農作物が栽培されている地帯で600メートル離れた互いに類似している地形の27m²の2つの地区で実験が行なわれた。一地区には、地上1メートルに3メートル間隔で100カ所に200 μ l (約17mg)のフェロモンの入った小容器 (高さ0.5cm, 直径2.5cmのステンレス製) をおいたこの地区の中心に10匹のメスを入れた円筒型トラップ (直径11cm, 長さ64cm, 三等分して真中にメスを入れる) を設置した。もう一つの地区には、フェロモンをおかずにメスの入ったトラップのみをおいた。フェロモン設置区と非設置区は一日毎に取替えて、4日目に10 μ lのフェロモンを各容器に追加した。1週間合計すると、フェロモン設置区捕捉数0であったのに、非設置区では102匹のオスを捕捉した^{10,23)}。この間、気温の変化は21°Cから9°Cにわたり、この温度では1容器当たり、40~110 μ g/hrで蒸発している。この平均値を60 μ g/hrとすると、1ヘクタールでは82mg/hr (25mg/acre) である。一晩に8時間使用したとして、0.6g/hectare 要

し、1シーズン100夜で 10^5 hectare に使用するとし、 6×10^3 kg で充分ということになる。化合物の単価にもよるが、量的には少なく、経済的な防除法である。

今後、蒸発装置を考察すること、交尾行動を野外で抑制するに要するフェロモンの最低濃度を知ること、野外のメスのフェロモンの発散速度を知ることによって、より一層この防除法を確立できる。

C. トラップの構造について。前述のAあるいはBの(i)の方法には、トラップが必要である。このトラップの効果は捕捉数に大きく影響する。今まで最も多く使われてきたのは、種々の円筒で内部にフェロモンをおいたものである。Cabbage looper の野外試験には直径11cm、長さ64cmの円筒で、これを3区分し中央に生きているメスあるいはフェロモンを入れ、両端の内側に粘着剤を塗布したものである。しかしながら、その捕捉数に変動が大きいことからトラップの構造の検討を行なった²⁹⁾。従来の円筒型トラップは、設置場所の風の方向に平行に配置した。しかし、一夜のうちに風向きが一定していないために、捕捉数に影響するのではないかと考えられた。種々の型のトラップを比較検討した結果、2枚の円板をある間隔で固定し、その下板の中心にフェロモンをおく型がもっとも有効であった。この型では、あらゆる方向からトラップに侵入できるので、一夜のうちの風向の変化に影響を受けない。例えば直径60cmで2枚の板の間隔4cm、二面の内側に Stickem® を塗布したものは、従来の円筒型の10倍の捕捉数（一夜で約80匹）があったという。このように、トラップの考察が捕捉数に大きく影響することも充分考慮する必要がある。

5. 性フェロモン利用の防除法を実際化する際の問題点

(i) 発生状況調査にトラップを使用するにしろ、トラップを使用しないオスの順応による害虫防除を行なうにしろ、性フェロモン腺の粗抽出物よりは、純粋のフェロモンの使用がより有効である。このためには、昆虫の大量人工飼育、フェロモンの抽出、精製、化学構造の決定、合成という過程を経なければならない。抽出のためのメスは、はたして処女メスが必要なのかということは、大量飼育時の雌雄判別の労力を省く上から、予じめ検討しておくことが必要である。

(ii) 性フェロモンは、昆虫によってどのくらいつくられ、あるいは貯えられ、どのように分泌されるのであろうか。特に1日の何時頃、どれくらいの量が発散されるかということの解明が重要で、これによって施用適量がきめられる。

(iii) 性フェロモンの利用は、かなりの広域にわたる

ものと考えられる。しかもトラップを使用しない順応による場合には、一定地域に、一定時間、ある濃度のフェロモンを保持しなければならない。この点、盆地、谷間の一部という地形の影響や風の影響が大きい。実用化の手始めとして、ガラス室やビニールハウスにおける栽培への利用が考えられる。

(iv) 施用の型式はどうするのが良いか、噴霧式、粒状散布、蒸発器の使用があげられるが、施用時期、量、頻度を検討しなければならない。

6. 性フェロモン利用防除法の利点

現在、殺虫剤に要求されている特性は、強い殺虫性、人畜に対して低毒性、低残留毒性、選択性、低抵抗性であろう。これらの点について、性フェロモンはどのような位置を占めるであろうか。

昆虫が同種間の情報伝達に使用するフェロモンは、微量であり、おそらく哺乳類に対する薬害は無視できるのであろう。しかし実用に供する量では、どうなるかについては充分検討せねばならない。

性フェロモンのトラップにオスを誘引し、これに何らかの方法で、不妊剤を与え、また野外へ戻して害虫防除の効果を上げる方法については、不妊剤の行方、その薬害についての検討が必要である。

現在まで知られている性フェロモンの性質から蒸散、分解して残留毒性の生ずる可能性は少ない。また同じ殺虫剤を使いつづけたときに、抵抗性をもった系統の生れてくることが知られているが、性フェロモンでは、その可能性はないといえよう。

性フェロモンは、種特異性が非常に高く、昆虫の種類によって、化学構造も異なっている。しかし、最近では、性フェロモンの種特異性はおろか、科の違った2種の昆虫が同一のフェロモンをもっているのではないかという生物試験の結果も報告されている²⁹⁾。一方、野外試験の多くは、種特異性を示すものが多く、地理的に他種と隔離されていること、交尾活動期、時間が異なっていることなどから、生殖過程が種によって隔離されていると考えられる。さらに求愛物質による刺激の差異、交尾における形態的差異に生理的、遺伝的要素が加って種間雑種が生れないような仕組みができているのであろう。従って、性フェロモンの刺激が、種特異性を持っていないとしても、実際防除の上では、種特異性の高い化合物の価値は充分みとめられる。

総合防除法における天敵の利用は重要である。現在では、例えば害虫と天敵の成長期の違いを利用して殺虫剤を使う工夫がされている。性フェロモンの利用が、この殺虫剤にとって代るときがくれば、天敵の利用が一段と効力を増し、したがって、総合防除法の効果を発揮するであろう。

7. おわりに

筆者は、1969年から2年間、カリフォルニア大学(リバーサイド)昆虫学科で研究する機会があった。そこで行なわれている実験、研究の方向を中心に性フェロモンの利用についてまとめた。

本稿では、特に述べなかったが、化合物の構造と性フェロモン活性の問題がある。これは、Bombykolとその異性体のカイコに対する活性ですでに知られている所である。ある性フェロモンを防除に利用する場合、その性フェロモンそのもののみに活性があるのか、ある特定の基本構造をもった類縁体でも充分活性があるのかということは、実用化のための経済的合成の面から重要なことである²⁷⁾。あるいはまた、どのくらいの純度のフェロモンが使えるのか、夾雑物で活性に影響するものはないかなどの点も検討しておかなければならない。

以上、不充分ではあるが、できるだけ多く実用化のための基礎的問題、実際問題について検討を加えてみた。農薬による公害が大きな社会問題となっている今日、一日でも早く性フェロモンによる被害のない防除法の確立を願っている。

参 考 文 献

- 1) Steinbrecht, R. A. Z.: *Vergleich. Physiol.*, 48, 341 (1964).
- 2) Shorey, H. H. and S. U. McFarland: *Ann. Entomol. Soc.*, 61, 372 (1968).
- 3) Wharton, M. L. and D. R. A. Wharton: *J. Insect Physiol.*, 1, 229 (1957).
- 4) McDonough, L. M., D. A. George, B. A. Butt, M. Jacobson and G. R. Johnson: *J. Econ. Entomol.*, 62, 62 (1969).
- 5) Shprey, H. H. and L. K. Gaston: *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 57, 775 (1964).
- 6) Collins, C. W. and S. F. Potts: *U. S. Dept. Agr. Tech. Bull.*, 336, 1 (1932).
- 7) Kuwahara, Y., C. Kitamura, F. Takahashi and H. Fukami: *Botyu-Kagaku*, 33, 158 (1968).
- 8) Barth, R. H.: *Science*, 149, 882 (1965).
- 9) Shorey, H. H. and L. K. Gaston: *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 58, 597 (1965).
- 10) Shorey, H. H., L. K. Gaston and C. A. Saario: *J. Econ. Entomol.*, 60, 1541 (1967).
- 11) Payne, T. L.: Ph. D. Dissertation, University of California., Riverside (1969).
- 12) Shorey, H. H. and L. K. Gaston: 未発表.
- 13) Butler, C. G. and E. M. Fairey: *I. Apicult. Res.*, 3, 65 (1964).
- 14) Gaston, L. K. and H. H. Shorey: *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 57, 779 (1964).
- 15) Barth, R. H.: *Behavior*, 23, 1 (1964).
- 16) Collins, C. W. and S. F. Potts: *U. S. Dept. Agr. Tech. Bull.*, 336, 44 (1932).
- 17) Schneider, D., G. Kasang and K. E. Kaissling: *Naturwissenschaft*, 55, 395 (1968).
- 18) Schneider, D.: *Ann. Rev. Entomol.*, 9, 103 (1964).
- 19) Shorey, H. H. and L. K. Gaston: *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 58, 833 (1965).
- 20) Henneberry, T. J., H. H. Shorey and A. N. Kishaba: *J. Econ. Entomol.*, 59, 573 (1966).
- 21) Henneberry, T. J. and A. F. Howland: *Ibid.*, 59, 623 (1966).
- 22) Waters, R. M. and M. Jacobson: *Ibid.*, 58, 370 (1965).
- 23) Gaston, L. K., H. H. Shorey and C. A. Saario: *Nature*, 213, 1155 (1967).
- 24) Burgess, E. D.: *Science*, 143, 526 (1964).
- 25) Sharma, R. K.: M. Sc. Thesis, University of California, Riverside, (1969).
- 26) Shorey, H. H., L. K. Gaston and J. S. Roberts: *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 58, 600 (1965).
- 27) Gaston, L. K., S. Takahashi and H. H. Shorey: 投稿準備中.