

植物防疫

昭和五十五年五月二十五日印刷
昭和五十四年九月九日第三行
第三千四百卷第五号
（毎月一回三十日発行）
郵便物認可

1980

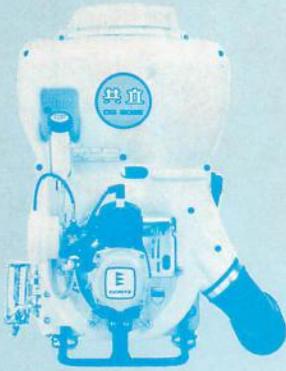
5

特集 昆虫の行動制御物質

VOL 34

優れた散布効率.....

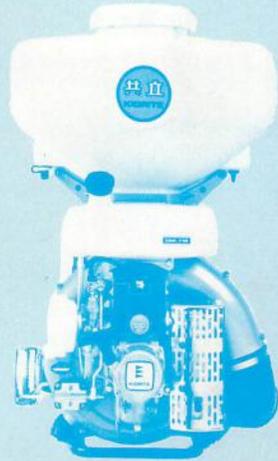
肥料散布はDM



DG-202E



DM-9AE



DMD-11E

電子エンジン付

共立背負動力散布機

防錆対策も万全。肥料・除草剤・農薬散布に抜群の散布効率を發揮します。

豊かな農林業をめざす.....

 株式会社 共立

 共立エコ物産株式会社
〒100 東京都新宿区西新宿1-11-36 新宿Kビル TEL 03-343-3231(代表)

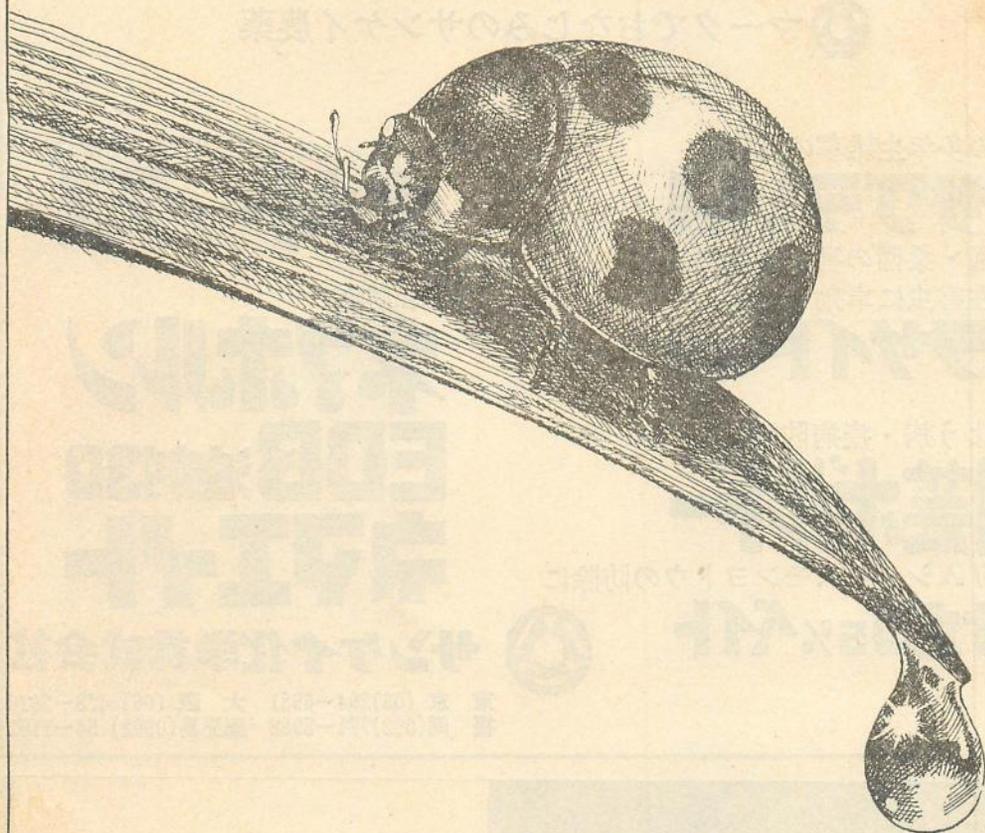
りんごの病害防除に!

黒点病・斑点落葉病

ピルノックス水和剤



大内新興化学工業株式会社
〒103 東京都中央区日本橋小舟町 7-4



自然との調和を デュポンは大切にしています

農作物を“自然のめぐみ”というように、実は自然との調和の中から生まれる——デュポン農薬は、1世紀におよぶ農薬づくりに、こうした考えを貫いてきました。そして、数々の製品は世界82カ国で愛用され、収穫をしっかりと見守っています。自然と手をたずさえて…これからも永年の実績を生かし、明日の豊かな農業のお役に立ちたいと考えています。

殺菌剤……ベンレート水和剤 ベンレートT水和剤20
殺虫剤……ランネット水和剤 ランネット微粒剤F
除草剤……ハイバーX カーメックスD ロロックス
ゾーバー レンザー テュバサン ベルパー

デュポン ファー イースト 日本支社 農薬事業部
〒107 東京都港区赤坂1丁目11番39号 第2興和ビル

DU PONT デュポン農薬

きれいで安全な農産物作りのために！

マークでおなじみのサンケイ農薬

★水田の多年生雑草の防除に

バサグラン 粒剤
水和剤

★果樹園・桑園の害虫防除に
穿孔性害虫に卓効を示す

トラサイド 乳剤

★かいよう病・疫病防除に

園芸ポルドー

★ネキリムシ・ハスモンヨトウの防除に

デナボン5%ベイト



★ナメクジ・カタツムリ類の防除に

ナメトックス

★線虫防除に

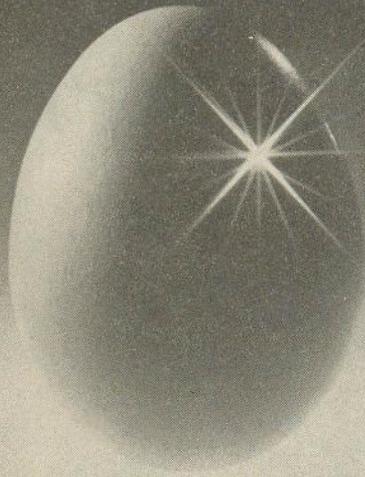
ネマホルン

EDB 油剤30

ネマエイト

サンケイ化学株式会社

東京 (03)294-6981 大阪 (06) 473-2010
福岡 (092)771-8988 鹿児島 (0992) 54-1161



挑戦が進歩をうむ。

よりよい農薬を求めて、ホクコーはあらゆる可能性に挑みます。

いもち病の予防と治療に！

強力な防除効果とすぐれた安全性

カスラフサイド 粉剤
水和剤
ゾル

いもち病の省力防除に効きめのながーい
ホクコー

オリゼメート 粒剤



取扱い
農協・経済連・全農



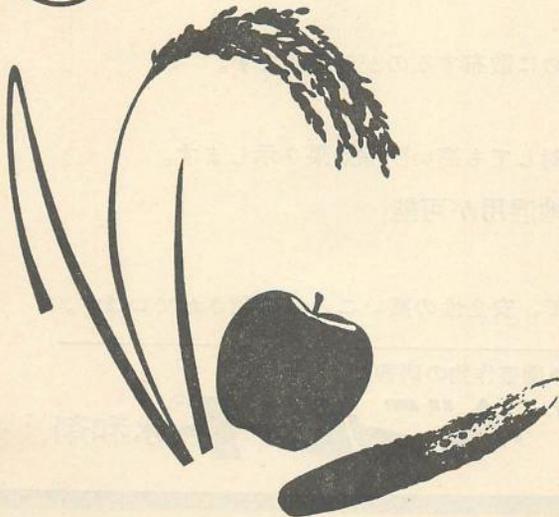
北興化学工業株式会社
〒103 東京都中央区日本橋本石町4-2
支店：札幌・東京・名古屋・大阪・福岡

お近くの農協でお求めください。

行動制御物質と害虫管理.....	石井象二郎.....	1	
ウンカ、ヨコバイ類の摂食行動制御物質.....	{ 金 武祥・高 行植 { 深海 浩	3	
鱗翅目昆虫の摂食阻害物質.....	和田弘次郎.....	9	
タマネギバエの産卵行動制御物質.....	{ 石川幸男・池庄司敏明 { 松本義明	15	
寄生蜂の産卵行動制御物質.....	戒能 洋一.....	20	
アブラムシの警報フェロモン.....	西野 親生.....	26	
カメムシ類の臭腺分泌物の化学構造と機能.....	北村 實彬.....	31	
性フェロモン・トラップによる害虫の発生予察.....	中村 和雄.....	39	
性フェロモンによる害虫の直接防除.....	若村 定男.....	45	
中央だより.....	51	協会だより.....	52
学界だより.....	44	人事消息.....	30

緑ゆたかな自然環境を...

「確かさ」で選ぶ……バイエルの農薬



●いもち病・穂枯れを防いでうまい米を作る

⑧ ヒノザン

●カメムシ・メイチュウなど稲作害虫に

バイジット

●アブラムシ・ウンカなど吸汁性害虫を省力防除する

⑧ タイシストン

●ドロオイ・ハモグリ・ミズゾウムシなどに

⑧ サンサイド

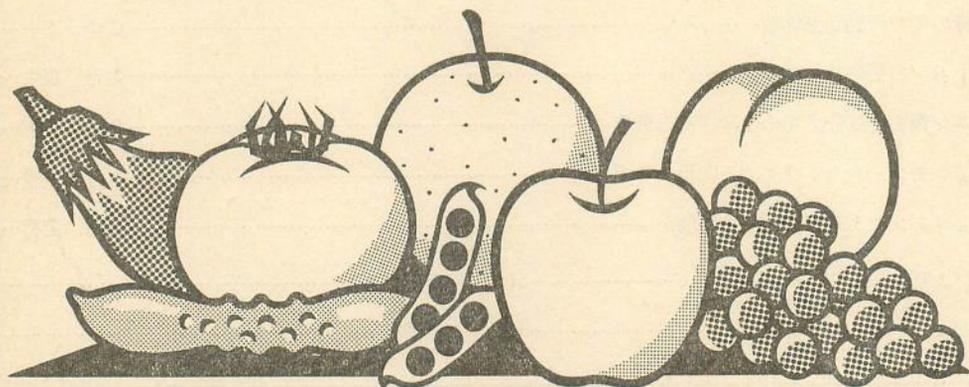
●各種作物のアブラムシに

⑧ エストッククス

日本特殊農薬製造株式会社

東京都中央区日本橋室町2-8 番103

正しく大切に使って、
より良い効果——！



新発売

武田 **ロブコール**[®] 水和剤

① 各種作物の重要病害に卓効

ロブコールは、(りんごの斑点落葉病、なしの黒斑病)、(野菜、ぶどうの灰色かび病)、および(野菜の菌核病、もも・おうとうの灰星病など)の各種病害に優れた効果を示します。

② 予防散布がより効果的

特に予防効果が優れているので、早めに散布するのが効果的です。

③ 耐性菌に対しても有効

現在問題になっている各種耐性菌に対しても高い防除効果を示します。

④ 各種の殺菌、殺虫剤との現地混用が可能

⑤ 環境に対する影響が少ない

魚介類、蚕、蜜蜂、野鳥などに対して、安全性の高いことが確認されています。

● 園芸作物病害の基幹防除に

● 園芸作物の病害に

武田 **ダゴニール**[®] デュボン **ベンレート**[®] 水和剤

行動制御物質と害虫管理

京都大学 石 井 象 二 郎

昨年(1979)8月にワシントンで国際植物保護会議が開催され、そのシンポジウムの一つに「行動制御物質：その植物保護における役割と応用」があった。引き続いてFAOのパネルがあり、R. F. SMITH (カリフォルニア大)が議長となって、W. J. LEWIS (ジョージア試験場)が害虫管理における行動制御物質の現状と応用の可能性」と題して話題提供をした。私はこの会議に出席しなかったが、送られてきた議事録を読むと、論じられた事柄は、私ども日本の研究者が当面している諸問題とほとんど同じである。すなわち、行動制御物質の有用性は明らかで、長期的な観点に立てば、害虫防除戦略の一つの重要な事項として研究すべきである。しかし、それが現在どれだけすぐ利用できるかということと、適切な発展のためには、どの方向に研究を進めるべきかという点について、いろいろ意見が分かれたのである。

I 行動制御物質

行動制御物質 behavioral chemicals と呼ばれているものは、動物の配偶、産卵・摂食・生息地選択、攻撃・防御などの行動を制御している物質である。行動制御物質の研究は古くから行われてきたが、最近いろいろ話題となり、関心が高くなったのは、やはりフェロモンの研究が大きな役割を果たしている。有機化学の研究方法の著しい進歩は、微量の生理活性物質の単離・構造決定を可能とした。一方、従来の強力な無差別に効力を発揮する殺虫剤に代わって、目的とする害虫に特異的に作用する薬剤、あるいは防除法を開発したいという我々の強い願望がそれに秘められている。

ある個体が行動制御物質を分泌した場合、それを受容した同種の個体が特有の行動を示す場合、その物質をフェロモンと定義し、他種の個体が特有の行動を起こす物質をアレロケミク allelochemic と定義している。アレロケミクには2種の生物間で相反する両面の作用がある。すなわち、その物質を分泌した種にとって適応的に有利に作用するものをアロモン allomone、逆に受容した種に有利に作用するものをカイロモン kairomone と名付けられている。アロモン、カイロモンという術語は一応定着したが、厳密に区別できるものでなく、アロモンも反対の立場に立てばカイロモンとなることもある。これらの定義のはんちゅうには含まれない物質があり、

そのために新しい術語が生まれてきた。例えば、分泌した種と、受容した他種ともに、都合よく作用する物質に対してシノモン synomone、生物以外の物質から発散し、それを受容した個体に有利に作用する物質に対しアプニュモン apneumone が提唱されている。更に生物相互の生態にかかわる物質をエコモン ecomone とし、エコモンをその作用からフェロモンとアロモンとに整理しようという提案もある。このアロモンには前述のアロモンとカイロモンとが含まれている。これらの術語の内容には混乱があり、研究者を迷わす結果になっている。私はこのような新しい術語の提案にむしろ反発を感じている。フェロモンという術語が提唱されたとき、多くの研究者はその提案を受け入れることに抵抗を感じなかった。それだけの必要性があったのである。行動制御物質のような新しく発展している学問では、今後も新しい術語の提唱があるであろう。新しい術語を提唱するには、その分野の学者の十分なコンセンサスが必要である。また、ある学者が提唱したら、すぐそれを無批判に取り入れて使うべきではない。

II 理学的研究と応用

行動制御物質の研究は動物の行動を引き起こす物質を究明しようという理学的興味から開始されることが多い。そして、その物質が究明された段階で応用が考えられるのが普通である。性フェロモンの研究も最初は配偶行動に関与する物質の究明を目的としたが、その構造が解明され、種特異的な強い生理活性が示されると、性フェロモンの害虫防除への応用が研究されるようになった。そして性フェロモンを害虫密度の推定に応用する技術はようやく固まり、普及しつつある。ところが、直接の防除に用いるための雄の大量誘殺法、あるいは交尾かく乱法の試験では結果が振れており、期待した成果が挙がらぬ例も報告されている。その結果から性フェロモンを直接害虫防除に応用することには疑問視する向きもある。しかし、性フェロモンの効果を従来の殺虫剤施用の効果と直接比較して優劣を論じることはできない。性フェロモンの効果をどのようにして評価するか現在研究中であり、まだ統一的な評価法は導かれていない。性フェロモンを総合防除技術の一環として考え、長期的な環境問題まで含めた評価をしなければならぬと思ってい

る。

性フェロモン以外では集合フェロモンの応用が試験されている。これも予察的には使えるが、直接の防除への応用の評価は固まっていない。アブラムシで発見された警報フェロモンも、応用への可能性が示唆されているが、まだ実用に供された例は聞いていない。密度調節を果たすフェロモンも学問的には大変興味深いのが、害虫防除への応用となると、そのフェロモンをそのまますぐ応用できるとは思えない。

一方、本号でも取り上げられる産卵、摂食行動を制御する諸物質の研究は、行動を物質的に解明した点でいざれも優れた研究である。しかし、解明された物質がそのまま応用的に用いられるかという点、はなはだ疑問である。私は物質究明はそれが目的であり、すぐその物質をそのまま応用することを考える必要はないと思っている。物質の究明は新しい応用方法を展開する可能性を秘めている。

III スクリーニングの役割

行動制御物質の研究は、昆虫の合目的な行動が化学物質によることが確められ、その化学的研究に発展するのが常とうである。ところが、自然界には合目的行動と理解することができない行動制御物質がある。例えば、ミカンコミバエがメチルオイゲノールに強く誘引されることを発見したのは F. M. HOWLETT (1915) であり、この研究を契機として、各種のミバエに強力な誘引剤が開発され、実際の防除に広く用いられていることは周知である。誘引されるミバエはほとんど雄であり、雄がなぜこのような化合物に誘引されるか納得のいく説明がされていない。ヨツボクサカゲロウの雄がマタタビのある成分に誘引されるのも同じような現象で、両者の間には

生物学的な因果関係は見当たらない。

多くの植物の成分には、本号にも述べられるように、いろいろな摂食阻害物質が含まれている。これらの化合物は本来昆虫による摂食を阻害するために植物に含まれていると考えることは難しい。更に植物には昆虫の変態を制御する物質も含まれている。これらの研究は植物に、ある活性物質があるという推定で研究されることよりも、昆虫の行動をモニターとしてスクリーニングにより発見されることが多い。あるアイディアをもって適切な生物検定法を用いたランダムなスクリーニングは、実用的な行動制御物質の発見に重要である。

IV 研究の方向

行動制御物質のような活性物質の研究は、長期間、多額な研究費を必要とする。しかもその種特異性と強い活性のためにそれほど大量に使われるとは考えられない。したがって、企業にとってはあまり有利な研究投資とは思えない。このような研究はやはり国や大学などの公共の研究機関が主導し、企業は製品化などに協力することになるであろう。

行動制御物質をどのように応用するかは、対象昆虫や制御物質の種類によって異なってくる。我々はその効果を従来の殺虫剤と比較して優劣を論じようとするが、それは間違いである。行動制御物質は殺虫剤とは異質のものであり、競合するものではない。害虫管理技術の中で、行動制御物質と殺虫剤をそれぞれ位置づけて、用い方を研究すべきである。

最後に、実用化を目的として行動制御物質を研究するには、目標とする昆虫を対象としなければならない。更にその昆虫は世界的な視野で考え、選ばれるべきである。

「植物防疫」専用合本ファイル

本誌名金文字入・美麗装幀

本誌 B5判 12冊 1年分が簡単にご自分で製本できる。

- ①貴方の書棚を飾る美しい外観。 ②穴もあけず糊も使わず合本ができる。
 ③冊誌を傷めず保存できる。 ④中のいずれでも取外しが簡単にできる。
 ⑤製本費がはぶける。

頒価 1部 500円 送料 300円

御希望の方は現金・振替・小為替で直接本会へお申込み下さい。



ウンカ、ヨコバイ類の摂食行動制御物質

京都大学農学部農業研究施設 きむ む じょう こう へん しく ふかみ ひろし
 金 武 祚・高 行 植・深海 浩

昆虫の摂食習性、摂食行動を昆虫と植物間の寄主選択問題の一環として捕らえ、摂食行動を制御する因子を化学的に追究した研究は既に数多くある。ところが、これらの多くは鱗翅目昆虫などそしゃく性昆虫に関するものであり、半翅目昆虫などの吸汁性昆虫についての研究は少ない。その理由は、個々の吸汁性昆虫の摂食習性についての生物学的研究が不十分であったことと、摂食行動を制御する因子を化学的に研究する際、昆虫の摂食行動を的確に反映する生物検定法の確立が困難だったためであろう。

1962年、内藤¹⁾によりツマグロヨコバイの摂食習性が研究されて以来、ウンカ、ヨコバイ類の摂食習性に関する基礎的研究が進められるようになった。一方、1967年にはフィリピンのIRRIでトビロウンカ耐虫性品種が発見され、日本稲との交配実験の結果耐虫性日本型品種が導入されるようになり、ツマグロヨコバイについても同様な研究が進行している。しかし、吸汁性昆虫の摂食行動に関する化学的研究は緒に付いたばかりといってよく、化学的に解明された例は数多くない。そこで、ここではウンカ、ヨコバイ類の摂食行動制御物質について紹介するばかりでなく、他の吸汁性昆虫についての研究も併せて述べることにする。

I ウンカ、ヨコバイ類の摂食行動

食植性半翅目昆虫は吸汁性昆虫に属するが、その摂食様式を更に細かくみると次の二つに分けられる²⁾。

① Stylet-sheath feeding type (口針しょう形成摂食型)

植物組織内にだ液を分泌して口針しょうを形成して摂食するものでウンカ、ヨコバイ、アブラムシ、カイガラムシなどすべての同翅亜目昆虫とカメムシ科など一部の異翅亜目の昆虫がこれに該当する。

② Lacerate and flush feeding type (裂傷洗浄摂食型)

口針で種子や植物表皮の表面部を引き裂き、そこにだ液を分泌して内容物を柔らかくした後吸取するもので、口針しょうは形成されない。異翅亜目のナガカメムシ科、ホシカメムシ科、メクラカメムシ科などの昆虫がこの摂食様式をとる。すべての吸汁性昆虫がこの分類に厳密に区分されるのではなく、例えばカメムシの一種 *Oncopeltus fasciatus* では植物上では①のタイプで吸汁するが、種子上では②のタイプで吸汁するなど昆虫によ

て若干の変化を伴うが、大別すると口針しょう形成摂食型①とそうでない②の二つのグループに分かれる。

ウンカ、ヨコバイ類などは典型的な口針しょう形成型である。寒川³⁾によると、トビロウンカがイネ葉しょう部の師管部に口針を挿入して、そこから吸汁する過程は、寄主植物の物理的、化学的因子に制御された次のような各段階の反応結果によるものである。すなわち、トビロウンカは下唇先端部で植物表面を軽く接触探索して口針挿入点を選択するが、この行動には植物表面の硬さや表面構造など物理的因子が関与する。挿入点が決まると表皮下への口針挿入が開始され、その際、昆虫のだ腺の特定組織から口針しょう形成物質が分泌され、口針挿入に伴い口針の周りにだ液のさやが形成される。このものがいわゆる口針しょうと呼ばれるストロー状の構造物である(図、a)。

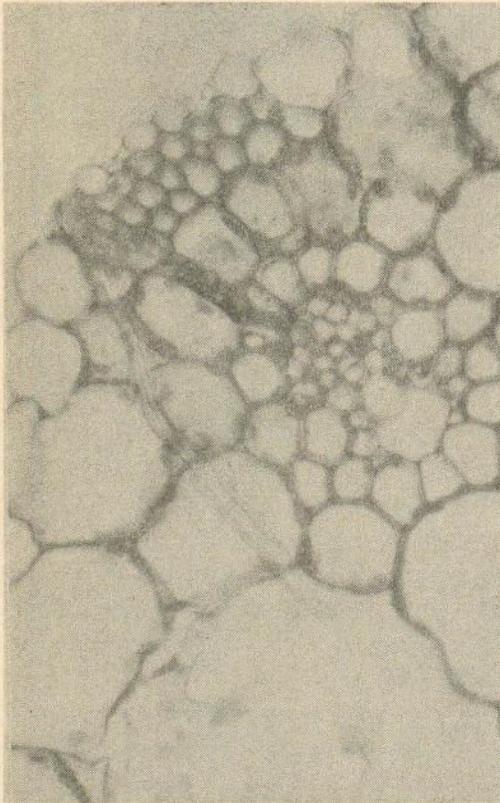
挿入した口針は、適当な刺激が感受されると同一挿入点から左右に角度を変えつつ反復挿入を行うが、この反応は植物内に含まれるある種の化学因子に対するものである。やがて吸汁部位に到達すると口針挿入を停止し吸汁を開始する。この段階で吸汁行動が継続的に行われるか否かは吸汁部位に含まれる吸汁阻害物質または促進物質などの化学因子に制御される。

このように、トビロウンカが植物から栄養物を摂取するには口針挿入点の選択後、口針を植物体深く挿入しつつ(この過程を Probing 過程と言う)、特定の吸汁部位に到達した後、吸汁を開始する(この段階を Sucking 過程と言う)。ヨコバイ、アブラムシなどではだ腺の構造、分泌物の成分、または吸汁部位などでウンカと若干違ったところがあるが、一般に口針しょう形成摂食型の昆虫の摂食は、Probing とそれに続く Sucking という明確に異なった二つの過程から成り立っている。

以下、Probing と Sucking の過程を制御する因子について化学的に見ることにする。

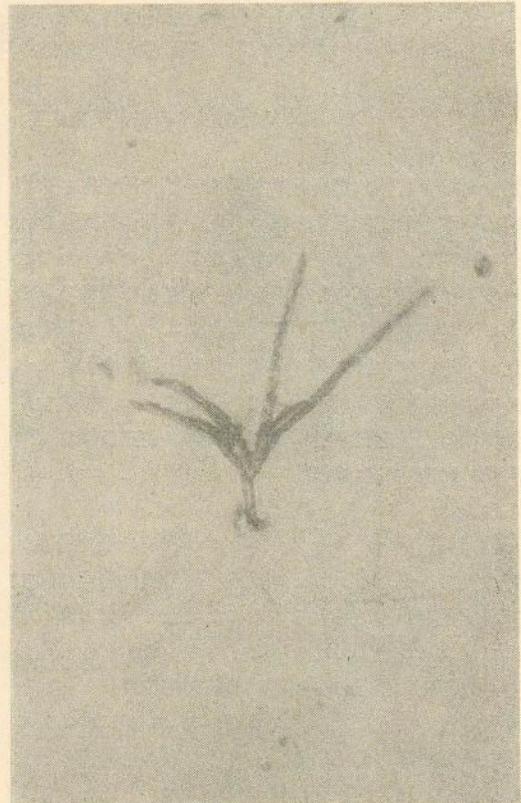
II Probing 刺激物質

口針挿入とそれに伴う口針しょう形成過程である Probing 反応を調査するには、通常二つの方法が用いられてきた。その一つは、昆虫を寒天培地またはパラフィルム膜を通して摂食させ、口針挿入過程そのものを顕微鏡下で直接観察する方法であり、他の一つは、口針しょう



a

a : 植物組織内に形成された口針しょう

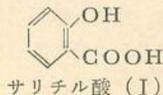


b

b : パラフィルム上に形成された口針しょう (4本に分枝している)

は口針が抜去された後も寒天中または膜上に原型をとどめて残るので、この口針しょうの形状、長さなどを観察して間接的に調べる方法である。このほかにも McLEAN らにより開発された EMIF 法がある⁴⁾。これは、昆虫の口器と植物組織間の接触状態の変化を一つの可変抵抗器に見立てた電気回路を作り、吸汁行動に伴う電気変動を波形として記録するものであるが、各昆虫に対応して口針の組織内での動作と波形の解釈が確立すると、今後 Probing 行動を制御する因子の化学的研究にも広く応用されるだろう。

寒川らはウンカ、ヨコバイ類のだ腺、吸汁習性に関する研究を通じて、Probing はある種の化学刺激に反応して起こることを明らかにした⁵⁾。パラフィルム膜上に形成された口針しょうの形状、長さから Probing 活性を検定する方法で、イネ体に存在するサリチル酸 (I) の Probing 活性を調べたところ、トビイロウンカでは

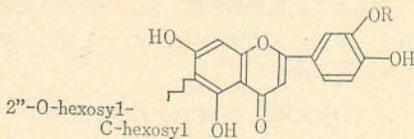


0.001M~0.004M 濃度で活性が認められ、ヒメトビウンカ、セジロウンカでも同様な活性が認められた。しかし、ツマグロヨコバイ、イナズマヨコバイでは活性がなかった。次いで、アミノ酸、芳香族カルボン酸、水溶性有機酸及びフラボン化合物を用いてトビイロウンカに対する Probing 活性を調べ、サリチル酸以外にもジニトロサリチル酸、4種の稲フラボノイド類に活性があると報告している。

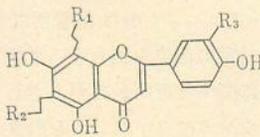
一方、筆者らはウンカの寄主選択に関する研究の一環として、イネ・タイヌビエ間でのウンカ類の摂食行動を調べた⁶⁾。トビイロウンカはイネを寄主植物とすることができない。ところが両植物上に放飼後、植物の組織切片を作製して口針しょうを観察すると、口針しょうはイネの場合でもタイヌビエの場合でも吸汁部位である篩管まで到達していた。また、両植物体の抽出物を用いて人工的にトビイロウンカの生育を調べると、イネ抽出物では生育するがタイヌビエ抽出物では生育できなかった。しかし、この場合でも口針しょうは両抽出物区ともパラフィ

ルム膜上に形成されていた。これらの結果から、タイムピエ中には口針挿入行動以後の吸汁過程を阻害する物質が存在することが示されたが、次いで興味あるのは、口針挿入に対してはイネとタイムピエの両方に刺激因子が存在することである。そこで筆者らはウンカの寄主植物であるイネを材料にして Probing 刺激物質を単離することにした。

トビイロウンカをパラフィルム膜を通してショ糖 15% を吸汁させると、吸汁はするが口針しょうは形成されない。しかし、ショ糖 15% にイネの抽出物 2% を加えると、あたかも植物組織中で吸汁しているかのように口針しょうを形成して吸汁する (図, b)。セジロウンカ、ヒメトビウンカでも同様な現象が認められた。筆者らはパラフィルム膜上に形成された口針しょうの数と口針しょうの分枝の状態を定量化する判定法を用いて活性物質の単離を行った。その結果、イネ抽出物から 8 種の活性物質を単離することができた。単離した成分はすべて C-glycosyl flavonoid であり、そのうち 4 成分 (A₁, A₂, A₃, A₄) は 2''-O-hexosyl-6-C-hexosyl-luteolin 誘導体 (II), 2 成分 (B₁, B₂) は 6-C-hexosyl-8-C-pentosyl-apigenin 誘導体, 2 成分 (C₁, C₂) は 6-C-hexosyl-8-C-pentosyl-luteolin 誘導体 (III) であった。また、これ



- (II) A₁ R = CH₃
 A₂ R = CH₃ + Ferulic acid
 A₃ R = H
 A₄ R = CH₃ + *p*-Coumaric acid



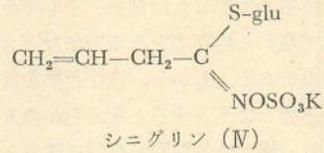
- (III) B₁ } R₁ = Pentosyl
 B₂ } R₂ = hexosyl
 R₃ = H
 C₁ } R₁ = Pentosyl
 C₂ } R₂ = hexosyl
 R₃ = OH

らの成分の活性はおのおの単独では弱く、8 成分すべてを混合したときのみ高い活性が示された⁷⁾。このように、寄主植物であるイネからウンカの Probing 刺激物質の本体を化学的に解明することができた。しかし、ヨコバイ類については現在のところ明らかにされていない。

さて、ウンカ、ヨコバイ類以外に Probing 刺激物質

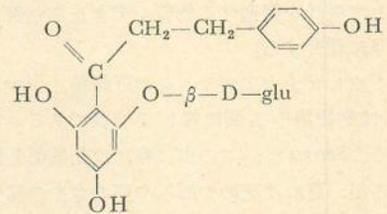
を研究している例があるので以下で紹介する。

ダイコンアブラムシは、アブラナ科とモクセイソウ科の植物を寄主とする。WENSLER は、両植物中に多量に含まれるカラシ油配糖体シニグリン (IV) に着目して、こ



の物質に対するアブラムシの Probing 刺激効果を調べた⁸⁾。0.2% シニグリン水溶液をディスクに処理して Probing 行動を調べた結果、無処理区に比べると 2.4 倍も Probe する時間が長くなった。シニグリンについては、NAULT からもダイコンアブラムシ及びニセダイコンアブラムシを用いてその Probing 行動を調べている⁹⁾。パラフィルム膜法によりシニグリン 1% 液を吸汁させ、膜上に形成された口針しょうの長さを測定した結果、シニグリン区は水だけの対称区と比べると 12 μ 以上の口針しょうが 5 倍以上にも達した。

一方、KLINGAUF はりんごの葉から Probing 活性を有する物質を単離した¹⁰⁾。りんごの葉に寄生するクビレアブラムシの 1 種 *Rhopalosiphum insertum* とリンゴアブラムシの摂食行動を調べ、りんごの葉の水またはエタノール抽出物に摂食刺激作用があることを見だし、活性物質として Phlorizin (V) を単離した。Phlorizin 溶



Phlorizin (V)

液を用いて *R. insertum* とリンゴアブラムシに対する摂食効果を調べた結果、このものは両アブラムシに対して Probing 行動を長時間持続させ、一種のアレスタント効果を有するものと結論した。しかし、MONTGOMERY がその後 Phlorizin についてリンゴアブラムシの Probing 行動を調べたところ、Phlorizin は何の活性も有しないことが分かった¹¹⁾。

III 吸汁行動制御物質

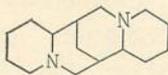
Probing 刺激物質に反応しながら口針を植物組織深く挿入して吸汁部位を探す昆虫も、吸汁部位に到達すると挿入運動を停止して吸汁を開始する。

既に述べたように、吸汁行動が継続するためには吸汁を促進する因子が存在し、吸汁を阻害する因子は存在しないことが必要である。植物体を用いて昆虫の吸汁行動の促進、抑制を調べるには、吸汁時の排泄物の定性的、定量的分析、体重の増加または減少、そしてそれらの総合的結果として現れる生存率をみる方法などが用いられ、比較的容易である。しかし、吸汁行動を制御する因子を化学的に追究しようとするとなんらかの人工飼育方法が必要とされ、検定する期間が長期に渡ると多大な労力が要求される。吸汁性昆虫の人工飼育にはいろいろな方法が考案されてきたが、MITTLER がモモアカアブラムシの人工飼育にパラフィルム薄膜を用いて成功して以来、吸汁実験にはほとんどパラフィルム薄膜が用いられるようになり、それぞれの昆虫の行動と実験の目的に応じて装置が工夫されている。

1 吸汁促進物質

ウンカ、ヨコバイ類やアブラムシ類の吸汁行動に対して、ショ糖ならびにその他の糖類、アミノ酸類、無機塩類などの吸汁刺激または阻害効果についての数多くの報告があるが、これらはほとんどが昆虫の人工飼料開発を目的として各成分に対する昆虫の反応を調べたものである。しかし、昆虫と植物間の相互作用、特に摂食行動においてこれらの成分が実際にどうかかわり合っているのか判明していないので、ここではあえてこれらの報告の結果を紹介することは避けた。ここでは、アブラムシに対して吸汁を促進する物質を突き止めた例があるので、以下に紹介する。

エンドウヒゲナガアブラムシの近縁種、*Acyrtosiphon spartii* は動物類や人間に対して有毒であるエニシダに寄生する。SMITH は、この虫は春には先端部茎葉部分を摂食するが、夏には花のつぼみや豆のさやの部分を摂食することを観察し、時期によって摂食部位が変化するのはエニシダに含まれる1種のアルカロイド、**sparteine** (VI) の植物内各器官での時期的移動と一致することを



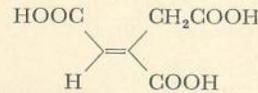
sparteine (VI)

認め¹²⁾。Sparteine が摂食刺激物質であることは *A. spartii* の寄主でないエンドウの葉へ Sparteine を処理することにより、*A. spartii* の摂食が刺激されることから証明された。ところでこの場合、無処理のエンドウの葉でも Probing はなされていたことを考えると、Sparteine はこのアブラムシに対して吸汁促進効果を持つものと推察される。

2 吸汁阻害物質

ウンカ、ヨコバイ類については筆者らの研究を含め2, 3の研究がある。筆者らは、タイヌビエからトビロウンカ摂食阻害物質を単離した。

既に述べたように、タイヌビエではトビロウンカは3~4日ですべて死亡したがその要因を調査した。イネ及びタイヌビエ上にトビロウンカを48時間放飼し、この間に排泄される honeydew をろ紙に受けて排泄量を調べると、タイヌビエ区ではほとんど排泄物が見られなかった。次に、タイヌビエで1~3日間飼育し(この間トビロウンカは死亡していく)、その都度まだ生存しているウンカを順次イネに移すと、ウンカは正常に成育して成虫になった。このことは栄養的な問題もしくは摂食後の代謝毒物質の影響ではなく、吸汁自体が阻害されていることを強く示唆したので、タイヌビエ抽出物に³²Pを加え、吸汁による虫体への³²Pの取り込み量を測定した。その結果、イネ抽出物区では多量の³²Pが取り込まれていたが、タイヌビエ抽出物区では全く取り込まれていなかった。これらの実験結果から、タイヌビエのトビロウンカに対する生育阻害作用は吸汁阻害物質によるものであると結論された。そしてタイヌビエ抽出物から吸汁阻害物質を単離した結果、トランス-アコニット酸(VII)であることを明らかにした。一方、トビロウンカが寄主とするイネには、トランス-アコニット酸は全く含まれていない¹³⁾。



トランス-アコニット酸 (VII)

ところで、一般にウンカ類は維管束の師管部から吸汁する。トランス-アコニット酸は師管部に存在しているのだろうか?。特定の部位を摂食する半翅目昆虫については、この問題に関する証明が必要とされる。ウンカ類のうちヒメトビウンカはタイヌビエを摂食する。そこで筆者らは、ヒメトビウンカによるタイヌビエの吸汁—排泄—排泄物の捕集という手法で間接的であるが吸汁部位の内容物を取り出した。排泄物を分析した結果、トランス-アコニット酸が検出された¹⁴⁾。筆者らの明らかにした吸汁阻害物質は、吸汁性昆虫でその現象から活性成分を明らかにした最初の例となろう。

筆者らは、次いでイネと栽培時期を同じくする栽培ヒエとシコクビエを用いて、トビロウンカ、セジロウンカ、ヒメトビウンカとの相互作用を調べた¹⁵⁾。その結果栽培ヒエではトビロウンカのみ生育できず、その生育阻害成分はタイヌビエの場合と同じくトランス-アコ

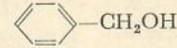
ット酸であった。シコクビエではトビロウンカ、セジロウンカともに生育できず、そのうえシコクビエ抽出物にはトランス-アコニット酸が極微量にしか存在しないので、生育阻害成分はトランス-アコニット酸以外の他の成分に求めなければならない。

トビロウンカに対しては、更に、抵抗性を有するイネ (Mudgo) の存在が知られている。現在この品種の抵抗性因子について化学的解明が進められている。IRRI の研究チームは honeydew test 法、虫体重量法、アイソトープ法などのバイオアッセイ結果を指標に研究を進めてきた。その結果、抵抗性、感受性の両品種には general inhibitor と呼ばれる共通の阻害因子があり、それは低分子状のケイ酸であること、また、抵抗性のイネ (Mudgo) からは吸汁阻害因子としてシュウ酸が単離されたと報告している。シュウ酸がはたしてトビロウンカに対するイネの抵抗性主要因子 (吸汁阻害因子) なのか、それとも単なる第 2 の general inhibitor にすぎないのか、更に詳細な実験が続けられている^{3,16)}。筆者らも、抵抗性品種 Mudgo のトビロウンカに対する抵抗性を研究しているが、吸汁阻害因子がシュウ酸であることには疑問を抱いている。

イネの害虫抵抗性に関しては、トビロウンカ以外にツマグロヨコバイ 抵抗性品種がある。抵抗性品種として、Tadukan, Te-tep, Lepedumai などが知られている。これらの品種の抵抗性の要因解析が吸汁行動の点から調べられ、河部により本誌に紹介されている¹⁷⁾。現在のところ、生物学的研究は進行しているが化学的研究はこれからなので、詳細な点はここでは省略する。ただ、トビロウンカとツマグロヨコバイの摂食行動を比較した場合、トビロウンカは師管部吸汁であるのに対し、ツマグロヨコバイでは師管と導管の両方からの吸汁であるので、抵抗性要因解析は少し複雑になると思う。

その他のヨコバイ類については、ヒメヨコバイに対するステロイドアルカロイドの吸汁阻害作用が調べられている。ヒメヨコバイの個体数や産卵数はナス属の種間によって差が生じるだけでなく、ジャガイモの品種や交雑種の間でも差がある。DAHLMAN らは、ナス属植物に含まれる一連のステロイドアルカロイドについてヒメヨコバイ幼虫の吸汁阻害作用を調べた¹⁸⁾。Tomatin に強い吸汁阻害作用が認められたが、そのアグリコンである Tomatidin には阻害作用は認められなかった。その他 Solanin, Solanidin, Demissidin, Leptin-I にも吸汁阻害作用が認められた。これらの化合物がナス属植物とヒメヨコバイとの相互関係にどのような役割を果たしているのか今後調べなければならない。

ウンカ、ヨコバイ類以外に吸汁性昆虫に対する抵抗性品種の研究がアブラムシでなされている。アブラムシの 1 種、*Schizaphis. graminum* は北アメリカ地帯では古くから穀物の重要害虫として知られている。この害虫の防除のため育種学的研究が進められた結果、交配により抵抗性オオムギと感受性オオムギのアイソジニック系統が選抜された。JUNEJA らは、オオムギの抵抗性因子を調べるため両系統のオオムギを抽出してそれぞれの成分を比較分析し、感受性品種にはなく抵抗性品種にのみ存在する成分として、ベンジルアルコール (VIII) を見いだした¹⁹⁾。



ベンジルアルコール (VIII)

彼らは感受性品種の根からベンジルアルコールを吸収させる方法で、*S. graminum* に対する効果を調べた。それによると 1~1,000 ppm の濃度範囲でベンジルアルコールを吸収した感受性品種は、アブラムシに対して抵抗性を示すことが確認された。しかし、アブラムシの吸汁行動とベンジルアルコールとの関係は調べられておらず、吸汁阻害物質なのかどうか判明しない。

おわりに

ウンカ、ヨコバイ類の摂食行動は口針挿入と吸汁部位への到達後開始される吸汁という連続しながらも明確に異なった二つの過程から成り立っている。上記二つの過程がそれぞれ化学刺激による反応であることを明らかにするとともに、実際に昆虫の寄主選択の場面でこれらがいかに関与しているかを述べようとした。しかし、報告されている研究は極めて少なく、また、報告されているものの中でも作用機作が明らかでないものも少なくない。この意味からも本分野の研究は緒に付いたばかりと言える。

ここで、筆者らがこの分野の研究を進めるに当たって感じていることを 2, 3 述べたい。

一般に昆虫の摂食行動を制御する物質の研究を進める場合、① ある植物上における昆虫の摂食様式の行動学的観察、② 観察から得られるさまざまな現象の要因解析、③ 要因が化学刺激であると判断される場合、原因物質の分析という手順で進められる。ところで、ウンカ、ヨコバイ類など吸汁性昆虫では摂食行動自体が食餌媒体内部で行われるため、観察を行うにしても外部からの行動観察だけではなく組織内部で行われる反応を直接、間接的に詳しく調べる必要がある。そのためには組織切片による顕微鏡的観察、透視法 (内藤, 1967)、EMIF 法ならびにアイソトープによるトレーサー法など

を有機的に組み合わせて調べるべきであろう。

次に、制御物質を化学的に分析する場合であるが、通常抽出は植物全体から行われる。しかし、特定部位を吸汁する昆虫を対象とする場合、植物全体からの抽出物では artifact が加わり問題が複雑になる可能性もある。問題が生じない場合は別として、植物全体からの抽出による結果問題が複雑になる場合は対象となる吸汁の部位、例えば師管部から、より純粋な成分のみ抽出する方法を講じなければならないだろう。師管部内容物のみを取り出す方法は、既に植物生理の分野では光合成産物の転流速度、植物の発育に伴う師管内容物の変化などを調べるのに、また昆虫学の分野では、昆虫の栄養摂取の問題を調べるのに互いに違った目的からではあるが適用されている。これには吸汁性昆虫の honeydew を集める方法 (GRAY, 1952; FORREST, 1972; NODA ら, 1973; 金ら, 1979) と、吸汁中の昆虫の口針を鋭い刃物またはレーザー光線などで切断して浸出する液を集める方法 (MITTLER, 1958; WEATHERLEY, 1958; ZIEGLER, 1959; BARLOW, 1978) がある。今後これらの方法が、対象とする研究に導入され師管部からの抽出法が確立されると本分野の研究は大きく進展するであろう。

主な参考文献

1) 内藤 篤 (1962) : 関東東山病害虫研究会年報 9 : 55.

- 2) MILES, P. W. (1972) : Adv. Insect. Physiol. 9 : 183~255.
 3) SŌGAWA, K. (1973) : Rev. Plant Protec. Res. 6 : 31~43.
 寒川一成 (1979) : 植物防疫 33 : 187~192.
 4) McLEAN, D. L. and M. G. KINSEY (1964) : Nature 202 : 1358~1359.
 5) SŌGAWA, K. (1974) : Appl. Ent. Zool 9 : 204~213.
 6) KIM, M. et al. (1975) : ibid. 10 : 116~122.
 7) 金 武祚ら (1979) : 日本農芸化学会講要.
 8) WENSLER, R. J. D. (1962) : Nature 195 : 830~831.
 9) NAULT, L. R. and W. E. STYER (1972) : Ent. Exp. and Appl. 15 : 423~437.
 10) KLINGAUF, F. (1971) : Z. Ang. Ent. 68 : 41~55.
 11) MONTGOMERY, M. E. and H. ARN (1974) : J. Insect Physiol 20 : 413~421.
 12) SMITH, B. D. (1966) : Nature 212 : 213~214.
 13) KIM, M. et al. (1976) : Appl. Ent. Zool 11 : 53~57.
 14) 金 武祚ら (1979) : 応動昆虫学会講要.
 15) 高 行植ら (1977) : 同上.
 16) 吉原照彦 (1980) : 化学と生物 18 : 28~30.
 17) 河部 暹 (1979) : 植物防疫 33 : 193~199.
 18) DAHLMAN, D. L. and E. T. HIBBS (1967) : Ann. Ent. Soc. Am. 60 : 732.
 19) JUNEJA, P. S. et al. (1972) : Ann. Ent. Soc. Am 65 : 961~964.

本会発行新刊図書

昆虫フェロモン関係文献集 (IV) B 5判 24 ページ 350 円 送料 120 円

(IV) は 1976 年までの追加と 1977 年の文献を集録

既 刊

昆虫フェロモン関係文献集 (II) B 5判 46 ページ 400 円 送料 120 円

同 上 (III) // 59 // 530 円 // 120 円

(II) は (I) 以外の 1970~73 年の追加と 1976 年 3 月までに発表された昆虫の性フェロモンの一覧表及び INDEX と関連文献を付表として併録

(III) は 1970~73 年の追加と 1974~76 年の論文文献を併録

鱗翅目昆虫の摂食阻害物質

名古屋大学農学部農芸化学科 和田 弘次郎

はじめに

昆虫の寄主選択活動を制御する植物成分には、誘引忌避物質、摂食刺激物質、摂食阻害物質などがある。これら昆虫—植物間作用物質に関する基本的概念は、1960年ごろ発表された PAINTER¹⁾ や THORSTEINSON²⁾ の総説の中で述べられている。当時までは誘引物質、摂食刺激物質など昆虫によって選好される植物成分の研究が中心で、浜村³⁾ らのカイコに対するクワの誘引成分、摂食刺激成分の研究、宗像⁴⁾ のイネのニカメイチュウに対する誘引物質、松本⁵⁾ のヤサイゾウムシに対する誘引物質の研究などがあつた。しかし、昆虫の寄主選択活動に対して阻害的に働く植物成分、摂食阻害物質の化学的研究はほとんどなされていなかった。そこで筆者らは、この未開拓な分野であつた摂食阻害物質に関する化学生態学的研究を開始した。すなわち、昆虫によって食害を受けない植物を検索し、それらに含まれる摂食阻害物質を抽出単離し、その化学構造を解明する研究を行った。その後、コロンビア大学の中西、久保らの東アフリカ植物に含まれる摂食阻害物質の研究が加わり、現在までに発見された昆虫摂食阻害物質は50種を超えるに至つた。

これら昆虫摂食阻害物質の化学生態学的位置付けは、もう一度昆虫学者による研究によって裏付けられる必要がある。一方、摂食阻害物質を昆虫防除に役立たせる応用研究の立場からは、化学構造—生理活性の相関、活性発現に必要な最低構造ユニットの解明、関連化合物の合成と生物試験などの研究を行わねばならない。

ここでは、現在までに行われた昆虫摂食阻害物質の化学的研究について、化学構造と活性の関係、及び摂食阻害物質の作用特性を中心にまとめ、応用研究への展望について考察したい。なお、植物に含まれる昆虫摂食阻害物質全般については、丸茂⁶⁾、山下⁷⁾ らの成書を参照されたい。研究者自身の総説としては、筆者^{8,9)} 及び久保¹⁰⁾ のものがある。

I 化学構造と摂食阻害活性

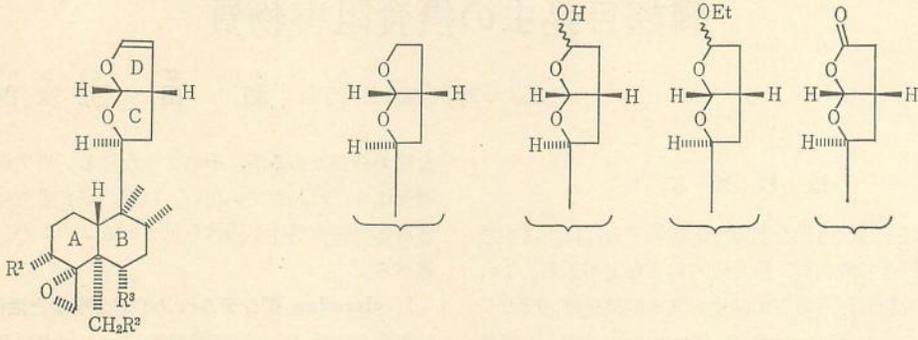
植物に含まれる昆虫摂食阻害物質は、アルカロイド、テルペノイド、リグナンなどいわゆる植物第2次代謝産物に属し、それぞれ独自の構造を有する。一つの化合物の構造活性相関を解明するためにも多くの関連化合物の

合成が必要であるが、そのような詳しい構造活性相関の研究はまだ行われていない。以下、摂食阻害物質とその誘導体の阻害活性が調べられている2, 3の例について述べる。

1 clerodan 型ジテルペノイドの構造と活性

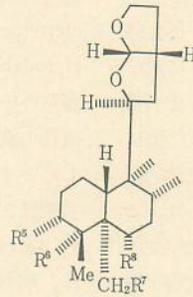
加藤^{11,12)} によって最初にクマツヅラ科のクサギ葉よりハスモンヨトウ、*Spodoptera litura* に対する摂食阻害物質として clerodan 型ジテルペノイドに属する clerodendrin A (19) 及びその7,8—ジヒドロ体である clerodendrin B が単離構造決定された。次いで細沢、加藤^{13,14,15)} によって我が国及び台湾産のクマツヅラ科植物の検索がなされ、clerodin (1), caryoptin (2) をはじめとする9種の clerodan 型ジテルペノイドが摂食阻害物質として単離された。更に久保¹⁶⁾ によって関連化合物 ajugarin I (20), II (21) が単離されている。ここでは、細沢¹⁰⁾ によって行われた化合物 (1)~(17) のハスモンヨトウに対する摂食阻害試験の結果を中心に、構造活性相関について紹介したい。構造式に示されるように、clerodan 型ジテルペノイドに存在する官能基には AB 環上の置換基と CD 環を構成する furo [2,3-b] furan 環の二つがある。第1表に示されるごとく最も基本的な構造を有する clerodin (1) は最も強い活性を示すが、(1)のD環が化学変換されたジヒドロ体(5)、ヘミアセタール(7)、エタノール付加体(3)、ラクトン(10)なども活性にほとんど変化がない。C-3位にアセトキシ基の入った caryoptin シリーズの化合物(2),(4),(6),(8),(9)ではD環の変化によって活性に多少の変動がみられるが、活性がなくなることはない。

一方、AB 環の置換基(3,4,18,6位)を変えることにより活性は大きく変動する。ジヒドロ体(5)及び(6)の3,18,6位のアセトキシ基を水酸基に加水分解された(11),(13)はほとんど活性を示さない。更に、エポキシイドを還元的に開裂した化合物(15),(17),(18)では、1,000 ppm でも活性はない。以上の結果から、Clerodin 系化合物の摂食阻害活性発現には AB 環の4位のエポキシ基、18,6位のアセトキシ基の存在が重要であると考えられる。後述する摂食阻害活性セスキテルペノイド、shiomodiol diacetate (44)²⁶⁾ は、官能基としてエポキシ基、アセトキシ基のみしか持たないことから、これらの置換基が活性サイトとして働いている可能性がある。し



- R¹=H, R²=R³=OAc (1)
- R¹=R²=R³=OAc (2)
- R¹=R²=R³=OH (11)
- R¹, R²= $\begin{matrix} -O \times Me \\ -O \times Me \end{matrix}$ R³=OH (12)
- R₁=H, R₂=R₃=OH (13)
- R₁=H, R₂, R₃= $\begin{matrix} -O \times Me \\ -O \times Me \end{matrix}$ (14)

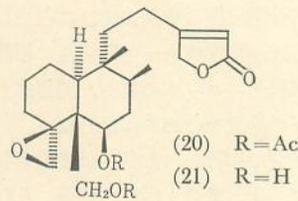
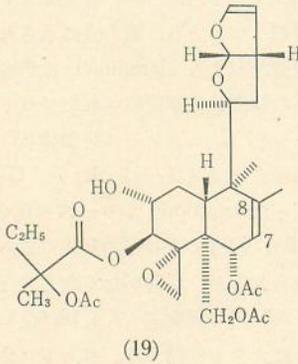
- (5)
- (6)
- (7)
- (8)
- (3)
- (4)
- (10)
- (9)



- R⁵=R⁶=R⁷=R⁸=OH (15)
- R⁵, R⁶= $\begin{matrix} -O \times Me \\ -O \times Me \end{matrix}$ R⁷, R⁸= $\begin{matrix} -O \times Me \\ -O \times Me \end{matrix}$ (16)
- R⁵=H, R⁶=R⁷=R⁸=OH (17)

clerodan 型ジテルペノイドの構造*

* ここに示される構造式は原報¹³⁻¹⁶⁾のそれの対称体である。最近、X線結晶解析³¹⁾, CD 分析³²⁾によりこれらの式に訂正された。



かし、小島、加藤¹⁷⁾は簡単な perhydrofuro [2, 3-b] furan 誘導体に弱いながらも摂食阻害活性があることから、CD 環部分が活性サイトと考え、構造と活性発現の関係を追求するため、clerodin 誘導体の合成研究を行っている。

久保らによって発見された ajugarin (I) (20), -II (21) の構造は、clerodin と絶対配置が対称的であり、味覚器官によって全く異なった化合物と認識されると考えられるにもかかわらず、ハスモンヨトウと同じ属のアフリカヨトウに対し摂食阻害活性を有することは興味ある事

実である。

2 芳香族系摂食阻害物質の構造と活性

矢島ら¹⁸⁾は、ミカン科のコクサギから furocoumarin に属する3種の化合物(22)~(24)と、3種の furoquinoline (25)~(27)を摂食阻害物質として単離した。下に示されるごとく、これらの化合物はわずかの置換基の違いで活性が大きく変化することは注目に値する。

磯貝¹⁹⁾は、薬用植物に含まれる昆虫生理活性物質に関する研究の過程で、ニクズクより(29)~(33)の dimeric phenylpropanoids を単離している。このうち、(30)と

第1表 clerodan 型ジテルペノイドの摂食阻害活性

化合物	濃度 (ppm)											
	1,000	500	200	100	80	50	25	12				
2	##(a)	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
6	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
8	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
4	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
9	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
5	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
7	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
3	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
10	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
11	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
12	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##	##
13	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

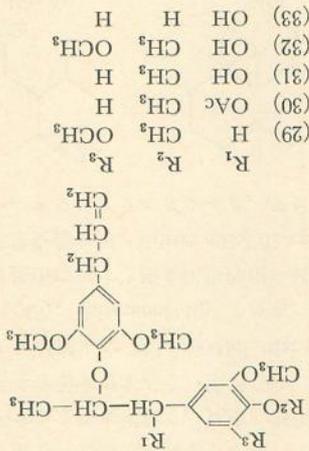
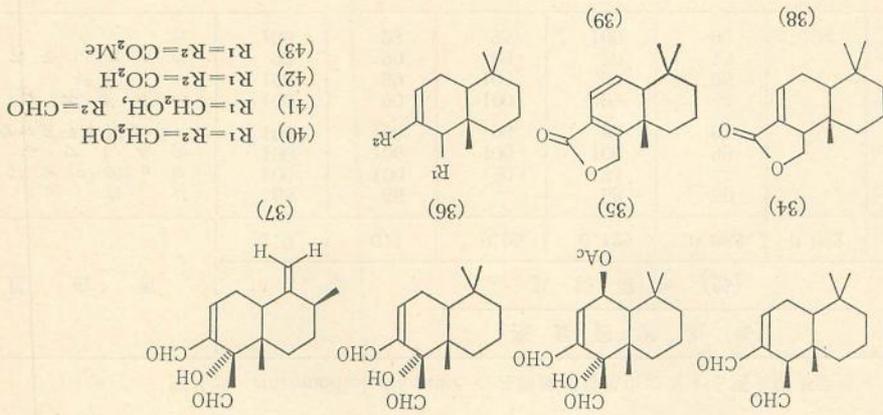
a) 摂食阻害率 = $\frac{\text{対照摂食量} - \text{試料摂食量}}{\text{対照摂食量}} \times 100$

: 100~90%, + : 90~70%, - : 70~50%, - : 50~0%

(31)は300 ppmの濃度でカイロ幼虫に対し強い成育阻害作用を示すのに比し、(32)は成育阻害作用は弱いが、50 ppm濃度で摂食阻害活性を持つことが明らかにされた。おすかの構造の相違で、一方は味覚に作用し、他方は成育に対し生理作用を示すことは興味深い。

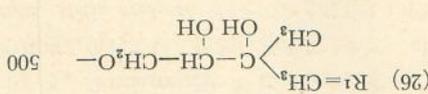
3 warburganalの化学構造と活性

東アフリカで薬用及び香料として使用されている *Warburgia* 属植物2種より、6種のセスキテルペノイド (34)~(38) がアフリカヨトウ *Spodoptera exempta* に対する摂食阻害物質の研究の過程で単離された^{20,21}。これらのうち最も活性の強いものは、warburganal (36) と muzigadial (37) である。最も簡単な構造をしている

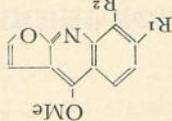


a) 50% 摂食阻害濃度

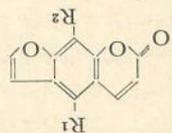
- (27) R¹=R²=OMe
 (28) R¹=R²=H



- (25) R¹, R²=-O-CH₂
 a) 100 ppm



- (23) R¹=OMe, R²=H
 (24) R¹=H, R²=OMe
 a) 5 ppm 10 100



polygodial (34) は、前2者に比して活性はかなり劣る。しかし、8, 9位のアルデヒドのいずれかあるいは両方が還元または酸化された化合物 (38)~(43) では活性はない。更に polygodial の 9-エピマーにも活性のないことから、polygodial の β -CHO-enal 構造が摂食阻害活性の最低必要ユニットであると考えられている。warburganal 類は摂食阻害活性を持つのみならず、抗ガン、抗菌作用などを持つことから興味を持たれ、最近四つのグループがその全合成に成功している²²⁻²⁵⁾。

II 昆虫摂食阻害物質の作用性

1 各種昆虫に対する摂食阻害活性

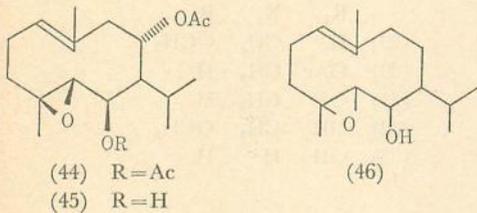
自然界における植物と植食性昆虫とのかかわりは実に複雑である。THORSTEINSON¹⁾によれば、すべての昆虫からの被害を免れている植物は極めてまれで、chinarberry tree, *Melia azedarah* がそのような珍しい例の一つである(後に、この植物より摂食阻害物質 meliantriol が単離された)。また逆に、ある環境中のすべての昆虫によって被害を受けるものもないという。よって、一つの植物から単離された摂食阻害物質がすべての昆虫に対して活性を示すことはまずなく、昆虫の種類によって異なった阻害活性を示すであろう。筆者らは、クスノキ科のシロモジより単離した shiromodiol diacetate (44), -monoacetate (45), shiromool (46) のうち、(44)について各種鱗翅目昆虫に対する摂食阻害作用を試験し、第2表のような結果を得た²⁸⁾。shiromodiol diacetate (44) はイネツトムシ、ユウマダラエダシヤク、アゲハ、カイコ

に対し 0.063% 濃度で 90% 以上の摂食阻害率を示し、特にカイコに対しては 80 ppm でもほぼ完全に摂食を阻害した。しかし、ハスモンヨトウ、モンシロチョウに対する活性は弱かった。

久保¹⁶⁾も、シソ科の薬草 *Ajuga remota* から単離した ajugarin I (20) は、アフリカの *Schistocerca gregaria* と *Spodoptera exempta* には強い摂食阻害活性を示したが、アメリカの *Spodoptera vega* にはほとんど活性がないと述べている。これらの観察が示すように、一つの化合物は特定の昆虫に対してのみ摂食阻害作用を示すもので、昆虫種に対して特異的であると考えられる。応用的立場から言えば、特定の昆虫に対してのみ有効な選択的防除物質としての利用が可能であることを示している。

2 絶対的摂食阻害と相対的摂食阻害

筆者ら名古屋大学農学部宗像グループが摂食阻害試験に用いた leaf disk 法では、昆虫 10頭を入れたポリエチレンのアイスクリーム容器の中に、試料のアセトン溶液に浸漬した飼料葉の disk とアセトンに浸漬風乾した control disk の二枚を並べており、約2時間後、control disk が食べ尽くされたときの sample disk の摂食量で摂食阻害活性を判定してきた。一般に control disk がなくなったとき、昆虫は sample disk のほうへ移動する。その後は試料によって sample disk も摂食されてしまう場合と、24時間以上にわたって摂食されない場合がある。細沢²⁹⁾は、clerodin (1) と bergapten (23) のハスモンヨトウに対する摂食阻害実験において、上記のような事実を観察し、摂食阻害物質には継続的に活性を示す絶対的摂食阻害物質 (absolute antifeedants) と非継続的な相対的摂食阻害物質 (relative antifeedants) があると定義した。すなわち、clerodin (1) は 50 ppm 濃度で 100% 摂食阻害を示し、sample disk は 24 時間後にも全く摂食されないが、bergapten (23) は 2 時間後には 500 ppm で 100% 阻害活性を示すが、6 時間後には



第2表 shiromodiol-diacetate の各種鱗翅目昆虫に対する摂食阻害活性

昆 虫 名	摂 食 阻 害 率 (%)							
	試 料 濃 度 (%)							
	1.0	0.5	0.25	0.125	0.063	0.032	0.016	0.008
ヨ ト ウ ガ	88	66	—	69	60			
モンシロチョウ	100	100	90	34	—			
イネツトムシ	100	100	100	100	99			
ユウマダラエダシヤク	100	100	96	88	91			
アカエグリバ	100	90	100	99	44			
アゲハ	100	99	100	99	96			
ハスモンヨトウ	90	90	85	70	15			
カイコ	100	93	95	100	90	94	95	97

第3表 shiromodiol diacetate 処理飼料
連続投与時の昆虫の体重増加

試料濃度 (%)	昆虫の体重 (mg)					
	経過時間 (時間)					
	0	24	48	72	96	
ハスモンヨトウ 対照	0	21	28	36	51	—
1.0	18	17	33	48	—	
0.5	19	21	30	38	—	
0.25	20	24	31	37	—	
0.125	21	27	37	45	—	
0.063	20	27	32	40	—	
アカエグリバ 対照	0	33	46	55	70	106
1.0	35	30	33	36	39	
0.5	33	33	35	41	52	
0.25	34	35	40	42	49	
0.125	36	37	44	51	59	
0.063	33	40	48	59	66	

sample disk も完全に摂食されてしまうとのことである。

また、筆者ら²⁸⁾は一つの摂食阻害物質が対象昆虫の種類によって、絶対あるいは相対的摂食阻害物質のいずれとしても働く場合があることを明らかにした。shiromodiol diacetate (44) のアセトン溶液で処理した飼料を昆虫に連続投与し、昆虫の体重増加に対する影響を調べた(第3表)。その結果、ハスモンヨトウでは1%、0.5% 処理区では最初摂食量が少なく、24 時間後の体重増加は対照と比して低いが、48 時間以後では摂食阻害効果がみられなくなり、体重は回復し無処理区と大きな差はみられなくなった。一方、アカエグリバでは0.06% 処理区でも体重増加率は低く、4 日後にも摂食率が低く体重は対照の60% 程度であった。すなわち、shiromodiol diacetate (44) はハスモンヨトウに対しては相対的摂食阻害物質、アカエグリバに対しては絶対的摂食阻害物質として働くものと考えられる。

おわりに

本稿では、摂食阻害物質研究の化学生態学的側面についての考察は省略したので、筆者らの総説^{8,9)}などを参照されたい。

筆者らの行った昆虫摂食阻害物質の研究は、昆虫の寄主選択行動に対する植物に含まれる負の化学的因子の本体を明らかにする化学生態学的研究であると同時に、摂食阻害物質の害虫防除剤としての利用をも目指したものであった。そ菜類の害虫であるハスモンヨトウを主として供試昆虫に用いたのも、応用研究を目標としたことによる。久保、中西グループの研究も、東アフリカの主要

害虫を用いているのは同じ理由と考えられる。

昆虫摂食阻害物質を昆虫防除剤として開発するためには次の点に注意を要する。

① 摂食阻害作用は昆虫特異的であるので、問題とする害虫を供試昆虫として検索する。

② 第1スクリーニングの leaf disk 試験において、継続的に阻害活性を示す絶対摂食阻害物質であることを確認しておく。

③ 摂食阻害作用は供試昆虫の飼育条件²⁹⁾(飼料の種類、温度)や令数によっても大きく変わるので、条件を変えて活性を調べてみる必要がある。

④ 強力な摂食阻害物質について、活性発現のために最低限必要な部分構造を検討する。

⑤ ④で発見した活性発現ユニットを持った簡単な化合物を合成し、生物試験を行う。

現在までの昆虫摂食阻害物質の化学的研究が、直接に実用昆虫防除剤の開発に結び付くとは考えられないが、植物成分に限ることなく、微生物代謝産物、合成薬品の昆虫摂食阻害作用を検索することによって強力な摂食阻害物質が発見され、実用化への道も開かれるであろう。

一方、昆虫抵抗因子を含む植物またはその抽出物を昆虫防除剤として用いることは古くから行われてきたことであり、除虫菊の利用、根部に殺線虫性物質 α -terthienyl を含むキク科植物、マリーゴールドを温室栽培のトマトの側に植えて、線虫を防除することなどはその代表的な例である。久保によれば、ナイジェリアではサバクイナゴに対し強い摂食阻害活性を示す azadirachtin を含む *Azadirachta indica* の実の水抽出物を幾つかの農作物に散布し、昆虫による食害を防いでいるとのことである。また、摂食阻害物質など昆虫抵抗性因子を含んだ作物品種の育成も、「農作物特許」制定が検討されている現在、単に農学者の課題であるだけでなく、企業レベルでの研究も進められるべきと考える。

引用文献

- 1) PAINTER, R. H. (1958) : Ann. Rev. Entomol. 3 : 267~290.
- 2) THORSTEINSON, A. J. (1960) : ibid. 5 : 193~218.
- 3) HAMAMURA, Y. et al. (1961) : Nature 190 : 879~881.
- 4) MUNAKATA, K. et al. (1959) : Bull. Agr. Chem. Soc. Japan 23 : 64~65.
- 5) 杉山章平・松本義明 (1959) : 農学研究 46 : 150~157.
- 6) 丸茂晋吾ら (1973) : 生理活性天然物化学, 東京大学出版会, 東京 pp 206.
- 7) 山下恭平 (1975) : 植物の生理活性物質, 南江堂,

- 東京 pp 134.
- 8) 和田弘次郎 (1967) : 化学と生物 5 (4) : 698~703.
- 9) ——— (1979) : 昆虫の生理と化学, 喜多見書房, 東京 pp 139.
- 10) 久保伊佐夫 (1979) : 同上 pp 153.
- 11) KATO, N. et al. (1973) : J. Chem. Soc. Perkin Trans. I : 712~719.
- 12) ——— (1973) : ibid. II : 69~73.
- 13) HOSOZAWA, S. et al. (1973) : Phytochemistry 12 : 1833~1834.
- 14) ——— (1974) : ibid. 13 : 308~309.
- 15) ——— (1974) : ibid. 13 : 1019~1020.
- 16) KUBO, I. et al. (1976) : J. Chem. Soc. Chem. Commun. : 949~950.
- 17) 小島康弘・加藤夏樹 (1977) : 第22回天然有機化合物討論会講演要旨集, pp 102.
- 18) YAJIMA, T. et al. (1977) : Agr. Biol. Chem. 41(7) : 1263~1268.
- 19) 磯見 彰 (1977) : 農化 51(6) : R47~R52.
- 20) KUBO, I. et al. (1976) : J. Chem. Soc. Chem. Commun. : 1013~1014.
- 21) ——— (1977) : Tetrahedron Lett. : 4553~4556.
- 22) NAKATA, T. et al. (1979) : J. Amer. Chem. Soc. 101 : 4400~4401.
- 23) OHSUGA, A. et al. (1979) : Chem. Lett. : 635~638.
- 24) TANIS, S. P. et al. (1979) : J. Amer. Chem. Soc. 101 : 4398~4399.
- 25) 木村章彦・磯江幸彦 (1979) : 第22回天然有機化合物討論会講演要旨集, pp 198.
- 26) WADA, K. et al. (1970) : Agr. Biol. Chem. 34(6) : 942~945.
- 27) ——— (1970) : ibid. 34(6) : 946~953.
- 28) 田中哲雄ら (1970) : 第52回関西病虫害研究会講演要旨, p 8.
- 29) 細沢茂樹 (1975) : 化学と生物 13(2).
- 30) HOSOZAWA, S. et al. (1974) : Agr. Biol. Chem. 38(4) : 823~826.
- 31) ROGERS, D. et al. (1979) : J. Chem. Soc. Chem. Commun. : 97~98.
- 32) HARADA, N. and H. UDA (1978) : J. Amer. Chem. Soc. 100(25) : 8022~8024.
- 33) WADA, K. and K. MUNAKATA (1971) : Agr. Biol. Chem. 35(1) : 115~118.

本会発行図書

チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除

森 樊須・真梶徳純 編

2,000円 送料120円 B5判 89ページ

内容目次

- | | |
|--|--|
| <p>I 総説・基礎的研究</p> <p>1 チリカブリダニ研究会の活動経過 (真梶徳純・森 樊須)</p> <p>2 チリカブリダニの研究史 (森 樊須)</p> <p>3 チリカブリダニの生活史 (浜村徹三・真梶徳純)</p> <p>4 チリカブリダニの増殖と捕食に及ぼす温湿度条件 (芦原 亘・真梶徳純)</p> <p>5 チリカブリダニの捕食者としての特性 (高藤晃雄)</p> <p>6 チリカブリダニの分散 (高藤晃雄・浜村徹三)</p> <p>7 チリカブリダニと土着カブリダニ類との競合 (森 樊須・斎藤 裕)</p> <p>8 チリカブリダニの大量飼育と貯蔵 (浜村徹三・真梶徳純)</p> <p>9 チリカブリダニに対する農薬の影響 (芦原 亘・真梶徳純)</p> | <p>II 農生態系における放飼事例</p> <p>施設内作物へのチリカブリダニの放飼</p> <p>1 促成及び半促成栽培イチゴ (深沢永光)</p> <p>2 ハウス内キュウリ (森 樊須・今林俊一)</p> <p>3 ハウス内ナス (松崎征美)</p> <p>4 ハウス内カーネーション及びバラ (藤本 清・広瀬敏晴・足立年一・伊東祐孝)</p> <p>5 ガラス室ブドウ (逸見 尚)</p> <p>野外作物へのチリカブリダニの放飼</p> <p>6 ダイズ及び小果樹類 (今林俊一・森 樊須)</p> <p>7 チャ (刑部 勝)</p> <p>III 総括 (森 樊須・真梶徳純)</p> <p>和文及び英文摘要</p> |
|--|--|

お申込みは前金 (現金・振替・小為替) で本会へ

タマネギバエの産卵行動制御物質

東京大学農学部害虫学研究室

いしかわ ゆきお いけしやうじとしあき まつもと よしはる
石川 幸男・池庄司敏明・松本 義明

はじめに

タマネギバエ *Hylemya antiqua* MEIGEN は、広く北半球に分布し、タマネギの重要害虫として著名である。成虫は体長 5~7mm の小型のハエであるが、幼虫はタマネギ幼苗の地下部を食害し、萎ちょう、枯死させる。我が国では、タマネギの主産地北海道でその発生がしばしば大問題となる¹⁾。寄主には、タマネギのほか、ニンニク・ニラ・長ネギなど *Allium* 属の植物が知られているが、タマネギに対する選好性が著しく高く、農業上の被害は専らタマネギに集中している。

さて、昆虫の寄主選好現象を説明するには、昆虫と寄主との間の時間的・空間的諸条件の一致という生態的側面、昆虫の生育に対する寄主の栄養的諸条件などといった代謝生理的側面からの研究だけでは不十分であり、更に視覚・きゆう覚・味覚などの感覚生理的側面からの研究が必要である^{6,7)}。特に、タマネギバエのように極めて寄主特異性の高い昆虫では、寄主の選好に感覚、特に味覚・きゆう覚は中心的な役割を果たしていると考えられる³⁾。

筆者らは、タマネギバエの寄主選択には雌成虫の産卵選択機構が支配的役割を演じていると考え、その解明を中心に研究を進めてきた。ここでは、今までに明らかにされた本種の産卵誘引刺激物質の研究を、筆者らの報告^{4,5)}を中心に紹介するとともに、ZURLINI and ROBINSON⁴⁾による幼虫の密度調節に関する研究とも付き合わせて、タマネギバエの産卵・摂食戦略を考えてみたい。

MATSUMOTO and THORSTEINSON⁵⁾は、タマネギの幾つ

かの匂い成分を試験し、*n*-propyl mercaptan, di-*n*-propyl disulfide が本種雌成虫を誘引し、産卵を刺激することを初めて実験的に証明した。また、タマネギ苗から実際に放散される匂い物質がタマネギバエの産卵を刺激することも示している⁷⁾。これらの研究を受けて、筆者らはまず、タマネギ苗の匂いの分析を行い、未同定の産卵誘引刺激物質の分離同定を検討することにした⁵⁾。

I タマネギの揮発性物質

日常食用に供されるタマネギの鱗茎部分の特異な匂いは、昔から化学者の興味を引いてきたが、その正確な成分組成はガスクロマトグラフの発達とほぼ同時に解明されてきた¹³⁾。しかし、鱗茎と生育中の植物体では匂いが違う可能性があるため、タマネギバエの誘引物質の追究には鱗茎ではなく、実際に生育中のタマネギ植物体から放散されている揮発性物質を捕集し、同定する必要がある。すなわち、植物体から空中に放散される匂い物質を効率良く、化学的に変化させずに、できればその成分構成比も変えることなく捕集する方法が望まれる。そこで、コールドトラップ法や活性炭への吸着法を試みたが、これらの方法は前記の条件を満たしていなかった。昆虫性フェロモンの捕集に、Porapak Q (多孔質ポリマービーズの1種)を吸着剤として用いる方法が優れているという報告¹⁾があったので、この方法を植物の匂いの捕集に応用することとした。

大型のガラス鐘内でタマネギを生育させ、ガラス鐘内の空気を Porapak Q のカラムを介して小型ポンプで排気する。1週間通気後、Porapak Q に吸着された揮発

第1表 タマネギから放散される匂いの含硫揮発成分とタマネギバエ雌成虫への産卵誘引刺激性

No.	化学名	構造式	平均産卵数		
			試験区	対照	差 ^{a)}
1	Dimethyl disulfide	CH ₃ SSCH ₃	33.1	57.3	-24.2 ns
2	Methyl <i>n</i> -propyl disulfide	CH ₃ SSC ₃ H ₇	256.0	83.8	172.2 ***
3	Di- <i>n</i> -propyl disulfide	C ₃ H ₇ SSC ₃ H ₇	251.0	81.9	169.1 ***
4	Dimethyl trisulfide	CH ₃ SSSCH ₃	10.6	17.1	-6.5 ns
5	Methyl <i>n</i> -propyl trisulfide	CH ₃ SSSC ₃ H ₇	182.1	104.6	77.5 *
6	Di- <i>n</i> -propyl trisulfide	C ₃ H ₇ SSSC ₃ H ₇	200.0	60.3	139.7 ***
7	<i>n</i> -Propyl mercaptan	C ₃ H ₇ SH	199.9	98.3	101.6 *
8	Methyl propenyl disulfide	CH ₃ SSCH=CHCH ₃	—	—	—
9	Propyl propenyl disulfide	C ₃ H ₇ SSCH=CHCH ₃	—	—	—

a) ns: 有意差なし, *: 5%, **: 1%, ***: 0.1% 有意 (ISHIKAWA ら⁵⁾より改変)

性物質を *n*-pentane で抽出し、溶媒を留去・濃縮する。こうして得た抽出物は、直接 GC-MS により成分を分離すると同時に同定を行った。その結果、生育中の苗の匂い成分として、第 1 表に示す 9 種の硫黄化合物を検出・同定した。量的には、*di-n*-propyl disulfide が最も多く、これに次いで *n*-propyl propenyl disulfide が多かった。これを貯蔵中のタマネギ、鱗茎切片から得たクロマトグラムと比較してみたが、期待されたような匂いの質的な差異は認められなかった。成分比は正確には分からないが、異なっている可能性が考えられる。匂いの放散量は 3 者の間で差が著しく、鱗茎切片 ≫ 生育中の苗 ≫ 貯蔵タマネギの順であった。

II タマネギ揮発性物質の産卵誘引刺激活性

産卵誘引刺激活性の生物検定は、MATSUMOTO and THORSTEINSON⁸⁾ に準じて行った。すなわち、30×30×30 cm のケージ内の成熟雌成虫 25 頭に対し、産卵基材として径 9 cm のシャーレに径 2~4 mm のガラスビーズを厚さ 7 mm に敷き詰めたものを与えた。供試物質 5 μl は活性炭に吸着させ、上記シャーレの中央に置いた。活性の評価は、処理区と対照区の産下卵数の差によることとした。結果は、第 1 表に示したとおり、テストした 7 種の硫黄化合物のうち、dimethyl disulfide (1)、dimethyl trisulfide (4) を除く 5 種の化合物に活性が認められた。なお、methyl propenyl disulfide (8)、propyl propenyl disulfide (9) の二つは、これらの合成が困難であったために試験するに至らなかった。活性物質の中では、methyl *n*-propyl disulfide (2) 及び *di-n*-

propyl disulfide (3) の活性が最も高く、産卵刺激性を反映すると考えられる合計産卵量で約 330 卵、誘引性を反映すると考えられる産卵数の差で 170 卵であった。dimethyl disulfide (1) 及び dimethyl trisulfide (4) が誘引性を持たないばかりでなく、産卵刺激性もないことは、合計産卵量がそれぞれ 80 卵、30 卵と極端に少ないことから明らかである。

III 物質の構造と産卵誘引刺激活性

産卵誘引機構の正確な把握のためには、匂いの受容から行動の発現に至るまでの過程を詳細に明らかにする必要がある。このことは、産卵誘引物質を用いて、昆虫の行動を制御しようとする応用面の研究にも不可欠である。誘引機構の解明により、天然に存在する誘引物質よりも強力なものを開発できる可能性もあると思われる。

そこでまず、匂いの受容に関連して、産卵誘引刺激物質の構造とその活性の関係を詳しく調べることにし、この観点からこれまでに活性が証明されている物質を調べてみると、そのすべてが例外なくプロピルチオ基 (*n*-C₃H₇S-) を部分構造として含んでいることに気が付いた。このプロピルチオ基の存在が活性の発現に不可欠なものかどうか、プロピルチオ基を除いた部分の構造は活性にどんな影響を及ぼすか、また、どの程度の構造の変化で活性が失われるかを調べるために、種々の構造を持つ類縁硫黄化合物を合成し、生物検定に供した。結果の一部を第 2 表に示した。得られた知見を以下に列挙する。括弧内に挙げた番号の物質を参照して読みたい。

① プロピルチオ基の炭素数を 1 個増減させただけで

第 2 表 類縁化合物の産卵誘引刺激活性

No.	化 学 名	構 造 式	平均産卵数		
			試 験 区	対 照	差 ^a
プロピルチオ基を含む類縁化合物					
10	Methyl <i>n</i> -propyl sulfide	CH ₃ SC ₃ H ₇	219.4	68.3	151.1 ***
11	Di- <i>n</i> -propyl sulfide	C ₃ H ₇ SC ₃ H ₇	156.0	49.8	106.2 **
12	<i>n</i> -Propyl <i>n</i> -amyl sulfide	C ₃ H ₇ SC ₅ H ₁₁	179.9	62.9	117.0 ***
13	<i>n</i> -Propyl <i>n</i> -octyl sulfide	C ₃ H ₇ SC ₈ H ₁₇	96.6	39.8	56.8 ***
14	<i>n</i> -Propyl <i>n</i> -amyl disulfide	C ₃ H ₇ SSC ₅ H ₁₁	208.9	48.5	160.4 ***
15	<i>n</i> -Propyl phenyl disulfide	C ₃ H ₇ SS- 	167.9	59.6	108.3 **
プロピルチオ基を含まない類縁化合物					
16	Allyl mercaptan	CH ₂ =CHCH ₂ SH	59.3	46.3	13.0 ns
17	<i>n</i> -Amyl mercaptan	C ₅ H ₁₁ SH	67.5	40.9	26.6 ns
18	Methyl allyl sulfide ^b	CH ₃ SCH ₂ CH=CH ₂	42.6	57.6	-15.0 ns
19	Diethyl disulfide	C ₂ H ₅ SSC ₂ H ₅	58.0	41.8	16.2 ns
20	Di- <i>n</i> -butyl disulfide	C ₄ H ₉ SSC ₄ H ₉	27.9	14.5	13.4 ns

^a 第 1 表脚注参照。(ISHIKAWA ら⁵⁾より改変)

活性は失われる。つまり、*n*-ブチルチオ基 ($n\text{-C}_4\text{H}_9\text{S-}$) もエチルチオ基 ($\text{C}_2\text{H}_5\text{S-}$) も活性を示さない (19, 20)。

② 分子内の硫黄原子数は2個のとき最も活性が高く、1個または3個でも活性は認められるが、若干弱まる傾向がある (3, 6, 10, 11)。③ プロピルチオ基がその部分構造に1個存在すれば、他方のアルキル鎖の長さは活性の有無には影響しない。しかし、鎖が長くなると活性は減少する傾向がある (12, 13, 14)。④ 分子内にベンゼン環を導入して、構造及び匂いをかなり異質なものにしても、プロピルチオ基を含む化合物には活性が認められる (15)。⑤ プロピルチオ基自体に二重結合を導入してアリルチオ基 ($\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{S-}$) とすると活性は全く失われる (16, 18)。

以上の結果から、プロピルチオ基は活性の発現に必須であり、プロピルチオ基を1個含んでいれば、その他の部分の分子構造は活性にあまり影響がないことが明らかになった。なお、VERNON ら¹²⁾ は、筆者らと別個にタマネギバエの産卵刺激物質の構造と活性の研究を進めているが、彼らは、プロピルチオ基ばかりではなく、ブチルチオ、アミルチオ基にも活性がみられるとしている。この結果の差異が何によるものかは今後の研究に待たれる。いずれにしても、自然界におけるタマネギバエの産卵誘引について考えてみると、タマネギからはブチルチオ、アミルチオ基を持つ物質は放散されないで、タマネギバエはタマネギ植物体から放散されているすべてのプロピルチオ化合物によって誘引されていることになる⁵⁾。

タマネギの特徴ある匂いは多数の物質の複雑な混合物であるが、これらのほとんどはその前駆体である *trans*-(+)-propenyl-cysteine S-oxide などが酵素 allinase により分解されて生じてくるものである¹³⁾。物質の構造の点から見ると、タマネギバエにとってのタマネギ臭の特徴は、プロピルチオ基により与えられていると言ってよいであろう。つまり、プロピルチオ基を含む匂いを出す植物を自分の寄主として認知していることになる。もっとも、これは誘引までの段階のことで、寄主を確認する機構が更にあるかもしれない。そして、単一の物質ではなく、一連のプロピルチオ化合物に誘引されることの利点は次のように考えられる。まず、単位時間当たりにタマネギから放散される誘引物質の総量が増えたのと同じ効果を持つこと、また、分子量の小さい物質のほうがより遠距離へ到達するので、複数系の成分比でハエの定位行動が容易になっている可能性も考えられる。プロピルチオ化合物間の共力作用、プロピルチオ化合物と単独では活性を示さない物質との共力作用も存在する可能性

が高い。いずれにしても、タマネギバエの産卵選択における、タマネギに対する高度の適応性の一端が明らかになったと考えられる。

IV 腐敗タマネギの誘引性と揮発性物質

タマネギの栽培ほ場で、タマネギバエによる被害が一つの被害株を中心にして同心円的に広がることしばしば観察されている。また、幼虫に食入されたタマネギ幼苗は食害部が腐敗し始めるが、この被害苗はいわゆるタマネギの匂いとも、単なる腐敗臭とも異なる特有の匂いを放散する。被害の同心円的拡大の原因の一つとして、この特有の腐敗臭がタマネギバエ雌成虫を強く誘引し、産卵が集中することが推測されていた。我が国では富岡¹⁴⁾が、新鮮タマネギ臭より腐敗タマネギ臭のほうが誘引性の高いことを指摘している。しかし、この腐敗タマネギの高い誘引性が何に由来するのか、化学的には全く不明のままであった。筆者らは、この高い誘引性は食害による硫黄化合物の単なる放散量の増大だけでは説明できず、細菌感染により二次的に生産された物質が積極的に誘引性を高めているのではないかと考え、腐敗による匂いの変化を化学的に追うこととした⁴⁾。

タマネギバエ幼虫とともにタマネギ植物体に侵入し、腐敗を引き起こす細菌を分離するために、幼虫飼育中のタマネギ鱗茎を少量の滅菌水で洗い、洗液を細菌用培地で培養した。混在する数種の細菌から、コロニーの色・形状により分別して更に培養した。産卵選好の予備試験の結果、これらの細菌のうちの1種が特にタマネギ切片に接種して腐敗させると、高い誘引効果を示すことが分かった。この菌をタマネギ切片に接種して 37°C で3日間腐敗させたものには、新鮮なタマネギ切片の約4.6倍の産卵がみられた。しかし、更に腐敗が進行すると、かえって活性は低下する傾向がある。

この菌により腐敗中のタマネギ切片から放散される匂いを、前と同様に Porapak Q を用いて捕集した。得られた揮発性物質を高速液体クロマトグラフで分離したところ、7個の大きなピークが得られ、調製クロマトグラフにより $F_{r1}\sim F_{r7}$ のフラクションを分取した。新鮮なタマネギ切片の匂いとクロマトグラムを比較すると、腐敗タマネギ臭では F_{r1}, F_{r2}, F_{r3} の著しい増加が特徴的であった。 F_{r1}, F_{r2}, F_{r3} のいずれかに強力な誘引物質が含まれている可能性が高いと考えられたので、 $F_{r1}\sim F_{r7}$ をそれぞれ産卵選択の生物検定に供したところ、 F_{r6} だけに生物活性が認められ、 $F_{r1}\sim F_{r5}, F_{r7}$ は単独では活性を示さなかった。ところが、 F_{r6} の成分を GC-MS により同定したところ、*di-n*-propyl disulfide, methyl

n-propyl disulfide など、既知の誘引性硫黄化合物以外を見いだせなかった。F_r6 の生物活性は、分画前の粗抽出物に比べかなり劣っているために、F_r1~F_r5, F_r7 のいずれかの中には、単独では活性がないが、F_r6 の誘引性プロピルチオ化合物との混合により、その活性を高める共力物質が存在する可能性が十分に考えられた。しかも、腐敗によって量が著しく増加する F_r1~F_r3 に、その共力物質の存在の可能性が高いと推察された。

F_r1~F_r5, F_r7 の化学成分を GC-MS により分離・同定し、今までに新鮮タマネギから同定されている以外の新物質の存在を検索した。その結果、F_r1 からは tetramethyl pyrazine, *n*-heptanal, F_r2 からは ethyl acetate, 2-pentanol を、腐敗タマネギの匂いに特有な物質として同定した。これら、腐敗タマネギ中から新しく見付かった物質の単体での産卵誘引刺激活性ならびに *di-n*-propyl disulfide との共力作用を生物検定により調べた。生物検定法は、前記の方法に準じるが、径 4.5 cm の小型シャーレを用い、対照、*di-n*-propyl disulfide, 試験物質、そして *di-n*-propyl disulfide と試験物質の混合物の 4 選択実験とした点が異なっている。

腐敗タマネギ中から新しく同定された物質は、いずれも雌成虫に対して単体では産卵誘引刺激活性を示さなかったが、ethyl acetate, tetramethyl pyrazine は *di-n*-propyl disulfide と一定の割合で混合すると、*di-n*-propyl disulfide の活性を数倍高める作用を持っていた。すなわち、腐敗タマネギの高い誘引性の少なくとも一部は、ethyl acetate と tetramethyl pyrazine のプロピルチオ化合物との共力作用で説明できるわけである。

さて、一方で、幼虫はプロピルチオ化合物に限らず、種々の硫黄化合物に誘引されることが知られている⁹⁾。つまり、幼虫の反応は成虫の反応とは必ずしも一致しないので、これら新しく同定した物質の幼虫に対する効果も同時に調べた。その結果、ethyl acetate は単独でも幼

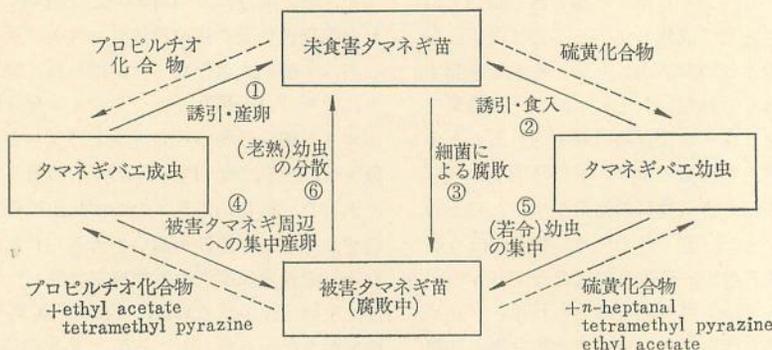
虫に対して、*di-n*-propyl disulfide よりも強い誘引活性を持つことが明らかとなった。このほか、tetramethyl pyrazine, *n*-heptanal はある範囲の成分比での混合により、*di-n*-propyl disulfide の誘引性を数倍高めた。なお、2-pentanol は、幼虫に対しても成虫に対しても、何の活性も示さなかった。

V タマネギバエ成幼虫の産卵摂食戦略

話が若干複雑になってきたので、タマネギバエの産卵戦略を生態学的な意味を含めながら総括し、そこに関与している（今までに同定された）化学物質の働きをみてみよう(図)。

5月中旬に土中の休眠から覚めて羽化し、産卵期を迎えた雌成虫は、定植されたタマネギ苗が放散するプロピルチオ基を含む一連の化合物により誘引され、産卵を刺激され苗周辺の土塊のかげに産卵する—①。この際にも未同定の共力物質あるいはプロピルチオ化合物間の相互共力作用が存在する可能性がある。ふ化幼虫はプロピルチオ化合物だけではなく、タマネギから放散されるあらゆる硫黄化合物に誘引されて、苗に定位する—②。幼虫は苗の発根部付近より食入するが、この際、恐らくは幼虫に付着している固有の細菌により苗の腐敗が進行する—③。細菌による二次産生物質の ethyl acetate, tetramethyl pyrazine のプロピルチオ化合物との共力作用により、雌成虫は更に強く誘引され産卵を刺激される。その結果、産卵は被害株の周辺に集中されることになる—④。同時に幼虫は、腐敗臭中の ethyl acetate, tetramethyl pyrazine, *n*-heptanal の共力作用により集中的な攻撃を促される—⑤。食害とともに腐敗が過度に進行し、幼虫の食物としての価値を失った苗からは、幼虫が分散し未食害苗を攻撃する—⑥。

以上の、産卵・摂食戦略の生態学的意味は、次のように考えられる。ふ化幼虫は、一般に苗の発根部から侵入



タマネギバエの寄主選択に関する化学物質

するが、植物体への食入はぜい弱なふ化幼虫にとっては容易なことではない。そこで、多数による集団攻撃が必要であるが、雌1匹の産卵数は1回当たり多くて20卵であり、十分な数とは言えない。そこで、いったん食入に成功した苗の周りへの集中産卵により、初期食入の負担を軽くすることができる。幼虫が食入に成功すると腐敗が始まるが、タマネギの傷から放散される sulfinate 類(タマネギ臭の前駆物質)は殺菌力があることが知られているので¹⁰⁾、この腐敗細菌はタマネギバエ幼虫から由来する特異な菌である可能性が高い。また、腐敗条件下のほうが幼虫の成長が良いという報告もある²⁾。幼虫とこの腐敗細菌は、一種の共益関係にあると考えることもできよう。ZURLINI and ROBINSON¹⁴⁾は、幼虫のタマネギ苗内の密度を適度に保つ機構として、腐敗タマネギへの選好性は若令幼虫のほうが高く、同時に過度の集中・腐敗が起こると、特に、食入力の高い老熟幼虫の分散が促されることを実験により示したが、この原因となる物質の解明はなされていない。以上にみた、雌成虫による産卵戦略と幼虫による摂食戦略により、タマネギという閉鎖系内の幼虫密度は生育に都合の良い状態に保たれると考えられる。

VI 害虫管理への応用

産卵行動制御物質の害虫管理への応用方法を幾つか挙げて、その問題点を指摘してみよう。

第一に、誘引物質が同定されると、その合成品の誘引剤への利用が考えられる。産卵誘引剤では、成熟雌成虫の飛来が期待され、十分に強力な誘引剤を得るならば、トラップ捕獲による直接的な被害の軽減も可能となるであろう。しかし、産卵誘引物質は誘引効果と同時に産卵刺激性をも備えている場合が多いと思われるので、トラップの設置場所を十分検討しないと、かえっては場内への集中産卵を招く恐れもある。また、ここで示したタマネギバエの誘引物質がそうであったように、誘引物質が単一である可能性はほとんどなく、複数成分系であり、しかも成分間の共力作用を考慮しなければならない場合がほとんどではないだろうか。強力な誘引剤を得るためには、かなり詳細な研究が必要であろう。更に、腐敗臭の強い誘引性に着目するといったような努力も必要であろう。

第二に、誘引成分が同定されると、その含量に着目した育種を進め、できれば誘引物質を全く含まない品種を育成することである。寄主でありながら、昆虫からは寄主と認知されない品種を作り出せるかもしれない。しかし、昆虫の寄主選択は複雑で、誘引という一つのステップを阻害したとしても、必ずしも寄主の確認が不可能に

なるとは限らない点に注意を払う必要がある。また、タマネギの場合は皮肉にも人間と昆虫の“嗜好”が一致していて、このバエの誘引物質を含まないタマネギは、人間にとっても魅力のない商品価値のないものになってしまう恐れがある。

おわりに

以上に見てきたように、昆虫の寄主選択の一部をとってみても、実に多様な物質が昆虫の行動の一段階ごとに介在していることが分かる。また、生態学的意味を持つ物質の存在も興味深い。これらの物質は、互いに複雑に相互作用を及ぼし合い、昆虫の行動に影響を与えるため、観察される現象の物質レベルでの説明を非常に困難なものとしている。しかし、強固な昆虫・寄主関係は、これらの複雑性があってこそ、初めて成り立つものなのであろう。

これらの物質の解明は、害虫管理への応用にもつながるが、寄主選択における興味ある現象は数多く報告されていても、物質の面から明らかにされているものは少ない。また、研究も断片的であり、一つの種について、その選択過程が初めから終わりまで詳細に研究された例はない。断片的な知識のままで、害虫管理への応用を急ぐと、誤りを犯す可能性がある。今後、多数の昆虫の寄主選択機構が物質のレベルで解明され、将来害虫の総合防除に役立つことを期待したい。

引用文献

- 1) BYRNE, K. J. et al. (1971) : J. Chem. Ecol. 1 : 1~7.
- 2) FRIEND, W. G. et al. (1959) : Can. J. Zool. 37 : 721~727.
- 3) 本田 洋 (1978) : 植物防疫 32(1) : 9~14.
- 4) IKESHOJI, T. et al. (1980) : J. Pes. Sci. (印刷中).
- 5) ISHIKAWA, Y. et al. (1978) : Appl. Ent. Zool. 13(2) : 115~122.
- 6) 松本義明 (1965) : 植物防疫 19(6) : 219~226.
- 7) ——— (1978) : 昆虫の科学. p. 21~37, 朝倉書店 pp. 239.
- 8) MATSUMOTO, Y. and A. J. THORSTEINSON (1968) : Appl. Ent. Zool. 3 : 5~12.
- 9) ——— (1968) : ibid. 3 : 107~111.
- 10) SMALL, La V. D. et al. (1947) : J. Amer. chem. Soc. 69 : 1710~1713.
- 11) 富岡 暢 (1977) : 植物防疫 31(5) : 206~209.
- 12) VERNON, R. S. et al. (1978) : Env. Ent. 7 : 728~731.
- 13) WHITAKER, J. R. (1976) : Adv. Food Res. 22 : 73~133.
- 14) ZURLINI, G. and A. S. ROBINSON (1978) : Ent. exp. appl. 23 : 279~286.

寄生蜂の産卵行動制御物質

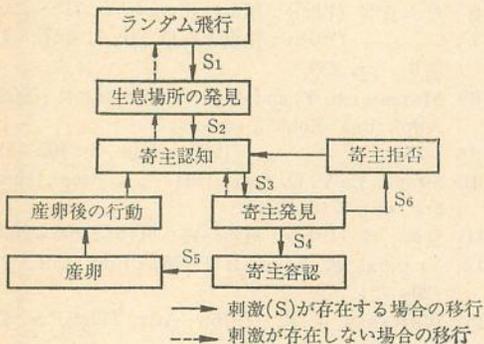
東京農工大学農学部害虫学研究室 かい 能 洋 一

はじめに

天敵放飼による害虫防除の試みは、古くから行われ、古橋 (1979)、矢野 (1979) の紹介にも見られるように、現在でも重要な生物的防除法である。天敵を大量増殖し、放飼するに際し、その行動を制御し、より効率良く捕食・寄生を行わせることができれば、好都合なことは言うまでもない。実際に、既に本誌でも本田 (1978) によって紹介されているように、アメリカでは、寄生蜂のカイロモンをほ場に散布し、寄生効率を高めるという試みがなされている (本田, 1978)。ここでは、主に寄生蜂の産卵行動、及びその制御物質についての従来の見解を紹介するとともに、その実用化への可能性について述べてみたい。なお、併せて平野 (1978)、広瀬 (1978)、本田 (1978)、玉木 (1978) などの総説も参照していただきたい。

I 産卵行動における化学物質の役割

DOUTT (1959) は、寄生昆虫の寄主選択過程を次のように分けた。① host habitat finding (寄生生息場所の発見)、② host finding (寄主の発見)、③ host acceptance (寄主の容認)、④ host suitability (寄主の適合)。更に、VINSON (1975) は、⑤ host regulation (寄主の制御) を付け加えることを提唱した。下の図は、①～③の行動過程を連続的に描いたものである。それぞれの移行のためには、刺激 ($S_1 \sim S_6$) が必要となる。この中で、 S_6 は後に述べるマーキング・フェロモンの刺激である。



寄生昆虫の寄主発見・産卵サイクル (VINSON 1977 より改写)

化学物質は、VINSON (1976) の言うように、これら寄主選択過程のほとんどすべてのレベルで、重要な役割を果たしている。産卵行動における①～③の各段階での化学物質の役割について、物質の同定されているものを中心に簡単に述べてみたい。

1 寄生生息場所の発見

寄生蜂が寄主を発見するためには、まず、寄主の生息場所を発見しなくてはならない。ここでの化学物質の役割は大きく、多くの報告がある。寄主の食物である植物や腐肉、あるいは、寄主が摂食した植物の食痕などに誘引されたり、寄主に関係した微生物やその産生物質が寄生蜂を誘引するという報告がある。コマユバチ科の *Diaeretiella rapae* は、寄主となるアブラムシの寄主植物 (アブラナ科) の揮発成分であるアリルイソチオシアン酸エステルに誘引される (READ ら, 1970)。また、ミバエ幼虫の寄生蜂 *Biosteres (Opus) longicaudatus* の雌成虫は、寄主である幼虫がいなくても、腐敗したモモの果実に誘引されるという (GREANY ら, 1977)。この誘引源はカビであり、カビの抽出液の分析から、エタノールが同定された。しかし、エタノール単独では活性が弱く、同定されていないアセトアルデヒドのほうに、強い活性が認められた。これら寄生生息場所の発見において、手掛かりとなる化学物質は、誘引性のある揮発性の物質が多いようである。

2 寄主の発見

寄生蜂が寄主の生息場所内に入れば、寄主の発見が必要となる。この段階での産卵行動、及びその制御物質についての研究は、コマユバチ科の *Microplitis croceipes* と、タマゴヤドリコバチ科の *Trichogramma evanescens* で進んでいる (LEWIS ら, 1976)。

M. croceipes は、トウモロコシの害虫であるタバコガ *Heliothis zea* の幼虫寄生蜂である。雌成虫は、寄主幼虫が排泄した糞を手掛かりとして、寄主幼虫を発見する。糞に接触すると、強い寄主探索行動が引き起こされ、触角でその周りの部分の探索を始める。刺激物質は、1令から5令までの幼虫の糞・体液・蛹の体液・成虫の体液と排泄物などに存在することが確かめられた。4令幼虫の嘔のうの内容物にもいくらか活性はあったが、食道の内容物に対する反応は、後腸に進むに従って強くなっていった。この刺激物質の重要性を証明するために、エン

ドウを、タバコガに摂食・排泄させたものと、処理しないものを用意し、人工飼育したタバコガ幼虫を置き、*M. croceipes* を放飼した。数時間後、これらの幼虫を集め、寄生率を調べた結果、前もって幼虫に摂食・排泄させた区では 29% だったのに対し、無処理区では、11% であった。この寄生率の違いは、幼虫が摂食・排泄したときの物質が、寄生蜂の探索行動を引き起こし、維持する作用を持つことに由来すると考えられる。

その後 JONES ら (1971) によって、この物質について分析・同定が行われた。彼らは、ペトリ皿に敷いたろ紙にサンプルをしみ込ませ、*M. croceipes* の雌成虫を放して、最初の接近で触角の反応が見られれば、3点、2回目の接近では2点、3回目は1点、反応がなければ、0点というスコアをつけ、活性を判定した。寄主幼虫の糞から抽出された活性成分は、7-, 9-, 11-, 13- 及び 15-メチルヘントリアコンタン (C_{32}) の混合物で、マススペクトルでは、13-メチルの異性体が最も多く含まれていた。そして一連の合成品の生物検定から、13-メチルヘントリアコンタンの活性が最も強いことが、明らかとなった。

類似の炭化水素が、コマユバチ科の *Cardiochiles nigriceps* の寄主探索行動刺激物質として同定されている (VINSON ら, 1975)。この寄生蜂は、タバコガの一種 *Heliothis virescens* の幼虫の吐液や、虫体抽出物に反応すること (VINSON ら, 1965)、また、大顎腺がこの刺激物質の分泌源であることが分かっていた (VINSON, 1968)。彼らは、ペトリ皿での生物検定で分析を行い、最終的には、合成した各種の炭化水素を、単独あるいは混合して活性をみた。その結果、メチル側鎖を持つ飽和の C_{32} 、 C_{33} 、 C_{34} に強い活性が見られ、これら3種の混合物に最も強い活性が得られた。前述の *M. croceipes* に最も活性のあった 13-メチルヘントリアコンタンは、*C. nigriceps* には不活性であった。また、*C. nigriceps* は、混合物に対し、より強い反応を示したが、*M. croceipes* の場合、活性のある近縁物質との混合物に対する反応は低下した (JONES ら, 1971)。これらのカイロモンに対する種特異性は、寄主と寄生蜂の関係を探る鍵となる部分であろう。

コマユバチ科の *Orgilus lepidus* は、ジャガイモガ *Phthorimaea operculella* の幼虫が残した糞に対し、探索行動をとる (GREANY ら, 1972)。この幼虫の糞をメタノールで抽出し、分析した結果、活性物質としてヘプタン酸が同定された (HENDRY ら, 1973)。この蜂は、ヘキサン酸にも反応し、吉草酸やオクタン酸にもわずかに反応する。ヘプタン酸は、 10^{-6} ng から動きが活発になる反応が見られ、100 ng で反応が最も強く、それより多く

ても反応は弱くなる。更に、 10^3 ng では忌避的な反応が見られるという。

タマゴヤドリコバチ科の *Trichogramma evanescens* については、古くから産卵行動についての研究がある。SALT (1935) と LAING (1937) は、産卵しようとする *T. evanescens* にとって、寄主卵の大きさ、形、色が選択の基準であると報告した。その中で、SALT は、卵自体は遠くから発見される何らの特徴も持たず、視覚的刺激が知覚手段であるとしたのに対し、LAING は、蜂が寄主成虫である蛾の残したにおいも感じていると結論した。その後、この蜂が寄主成虫に由来するカイロモンに反応し、このカイロモンは、寄主発見過程において、重要な役割を果たしていることが実験で示された (LEWIS ら, 1971)。

まず、寄主探索における蛾のにおいの重要性を調べるため、以下の実験が行われた。タバコガの卵について、① 布上に自然に産卵させたもの、② 成虫に直接触れた布に卵を置いたもの、③ きれいな布に卵を置いたものの3区を設け、ケージ内で、*T. evanescens* に与えた。翌日、解剖して寄生率を調べると、1個以上の寄生蜂の卵を持つタバコガ卵の割合が、①では 89.2%、②では 78.4%、③では 52.3% で、①と②は有意差はないが、③は①、②両方共に対し、有意差があった。続いて、雌蛾が産卵時に残す鱗粉が、*T. evanescens* の寄主探索行動を起こす刺激源であることが、次の実験で証明された (LEWIS ら, 1972)。エンドウに蛾の鱗粉を処理し、*Cadra cautella* (自然の寄主ではない) の卵を葉上に置き、蜂を放飼後、寄生率を調べた結果、鱗粉を処理した区では 51%、無処理区では 34% (5% 水準で有意) であった。これらの鱗粉の機能に基づき、JONES (1973) は、タバコガの鱗粉 5g をヘキサンで抽出し、分析を行った。生物検定は実験室、温室、野外において、サンプル処理区でのタバコガの卵の寄生率を無処理区と比較する方法である。その結果、鱗粉中の活性物質の大部分を占める4成分が単離され、マススペクトルから炭化水素のドコサン (C_{22})、トリコサン (C_{23})、テトラコサン (C_{24})、ペンタコサン (C_{25}) が同定され、このうち、トリコサンの活性が最も強いことが確かめられた。しかし、同属の *T. pretiosum* は、トリコサンには反応せず、その他の飽和炭化水素に対してもほとんど反応がなかった (LEWIS ら, 1976)。

コマユバチ科の *Bracon mellitor* は、ワタゾウムシ *Anthonomus grandis* の幼虫寄生蜂である。この蜂の産卵行動を引き起こす刺激物質は、ワタゾウムシ幼虫の糞から分離され、コレステロールの長鎖脂肪酸エステルと同

定された (HENSON ら, 1977)。この蜂が、鞘翅目で 19 種、鱗翅目で 20 種という広い寄生範囲を持つことは、この物質が昆虫の一般的な代謝産物であることからもうなづける。

寄主の発見におけるカイロモンの特徴は、VINSON (1976) の言うように、近くに接近した蜂が定位する低揮発性物質の場合や、接触して初めて反応するような接触化学物質 (contact chemicals) である場合が多い。後者の場合、WAAGE (1978) の言うように、これには arrestant (定着因子) としての機能もあると思われる。

3 寄主の容認

この段階には、形・大きさ・動き・音などが刺激となるが、化学物質も重要な役割を担っている。ARTHUR ら (1969) は、野外で鱗翅目昆虫の蛹に産卵する寄生蜂 *Itopectis conquisitor* の産卵行動を引き起こす活性画分をハチミツガ *Galleria mellonella* の幼虫体液から分離し分析した結果、タンパク性の物質で、ポリペプチドではないかとしたが、その後の研究で、この活性画分は主にアミノ酸の混合物であることが分かった (ARTHUR ら, 1972)。彼らは、各種のアミノ酸溶液をパラフィルムのチューブに包み、その内部に産卵された蜂の卵数を調べた結果、アラニン・セリン・プロリン・グリシン・スレオニンなどに活性があることを認めた。3 種類の組み合わせでは、セリン・アルギニン・ロイシンの混合物が活性が高く、トレハロース・マグネシウムイオンは活性を促進させる効果を持つことが分かった。彼らはこの人工産

卵培地が、寄生蜂を人工飼料で飼育する場合に利用でき、寄主幼虫がいなくても、蜂の卵を集めることの可能性を述べている。また、その後の研究で、ハチミツガ幼虫体液の活性画分には、プロリン・リジン・アラニンを高濃度に含むことが確かめられ、ヘキソースが共力的に働いていることが分かった (HEGDEKAR ら, 1973)。

II カイロモンの応用への試み

前述のように、*Trichogramma* 属では、カイロモンによって野外の行動を活発にし、寄生率を増加させることの可能性が示唆された (LEWIS ら, 1972)。ワタ園で、タバコガ成虫の鱗粉のヘキササン抽出物で、ワタの葉を処理し、蜂を放飼して、葉に付けた卵の寄生率を無処理区と比較した結果、無処理区の 2 倍の寄生が処理区にみられた。野外での合成カイロモン (トリコサン) の効果については、寄生率が無処理区で 4% だったのに対し、合成カイロモン散布区では、14% であった (LEWIS ら, 1975)。更に、寄生率増加の原因を調べるため、鱗粉のヘキササン抽出物について、① 均一散布、② 部分散布、③ 無処理の 3 区を設け、植物上に置いた卵の寄生率を比べたところ、①では 71%、②では 52%、③では 29% であった。部分散布区の中でも、処理部分の卵は、無処理部分上の卵より寄生率が高かった。これらの結果から、LEWIS ら (1975) は、カイロモンが蜂を寄主卵へ導く誘引物質としてではなく、より活発な探索行動を引き起こすリリースーとして機能していることを示唆して

同定された寄生蜂の産卵行動制御物質 (VINSON, 1977 より)

科 名	寄 生 蜂	寄 主	由 来	物 質	文献
Braconidae (コマユバチ科)	<i>Aphidius rapae</i>	<i>Myzus persicae</i> (モモアカアブラムシ)	寄主植物	アリルイソチオシアネート	29)
同	<i>Microplitis croceipes</i>	<i>Heliothis zea</i> (タバコガ)	糞	13-メチルヘントリアコンタン	17)
同	<i>Cardiochiles nigriceps</i>	<i>Heliothis zea</i>	大顎腺	メチルヘントリアコンタン メチルドトリアコンタン メチルトリトリアコンタン	37)
同	<i>Orgilus lepidus</i>	<i>Phthorimaea operculella</i> (ジャガイモガ)	糞	ヘプタン酸	12)
同	<i>Bracon mellitor</i>	<i>Anthonomus grandis</i> (ワタゾウムシ)	糞	コレステロール 長鎖脂肪酸エステル	13)
同	<i>Biosteres longicaudatus</i>	<i>Anastrepha suspensa</i> (ミバエの一種)	カビ	アセトアルデヒド	8)
Ichneumonidae (ヒメバチ科)	<i>Itopectis conquisitor</i>	<i>Galleria mellonella</i> (ハチミツガ)	体液	セリン, リジン, ロイシン, MgCl	1), 10)
Pteromalidae (コガネコバチ科)	<i>Heydenia unica</i>	<i>Dendroctonus frontalis</i> (キクイムシの一種)	寄主樹木	α -ピネン	4)
Trichogrammatidae (タマゴヤドリコバチ科)	<i>Trichogramma evanescens</i>	鱗翅目昆虫の卵	鱗粉	トリコサン	18)

いる。しかし、その後の研究で、寄主卵が低密度のときは、カイロモンの均一散布は有効ではなく、カイロモンを含ませた顆粒を散布する方法が、寄生率を増加させるのに有効であるとしている (LEWIS ら, 1979)。以下に、寄生率の増加以外のカイロモン処理の効果について述べてみよう。

1 産卵の分散

Trichogramma 属の寄生蜂が産卵する場合、1個の寄主卵に多く産卵するよりも、効率良く分散して産卵すれば、寄生率は増加するわけである。LEWIS ら (1975) は、カイロモンを散布することにより、より効率良く産卵が行われることを実験で証明し、その理由を「植物表面のカイロモンの存在が、一度産卵した寄生蜂をすぐ立ち去らせ、他の卵を探す行動に移らせた結果であろう」としている。

2 保持

LEWIS ら (1976) は、前述の *M. croceipes* がカイロモンの存在で、その場所に長くとどまることを発見した。エンドウを用い、① タバコガ幼虫に摂食させ、そのままとどまらせたもの、② 同様に摂食させ、幼虫を取り除いたもの、③ 摂食もさせず、幼虫も置かないものの3区を設け、それぞれの区に蜂を放飼して行動を観察した。時間の経過とともに、③のコントロール区ではすぐ蜂が飛び去ったのに対し、①、②区では長くとどまり、1時間後でも両区で7%の蜂が残っていた。この傾向は、幼虫の存在する①区のほうが強かった。この結果から、タバコガ幼虫の存在、または幼虫の残した糞、あるいは両者が、蜂を放飼した場所へ長くとどめておく作用を持つことが証明されたわけである。

3 寿命・産卵力への影響

カイロモンの存在が蜂の寿命・産卵に及ぼす影響について、NORLUND ら (1976) は、次の実験を行った。タマゴヤドリコバチ科の *T. pretiosum* の雌雄を入れた容器に、タバコガの卵を置き、鱗粉の抽出物を散布し、その後、蜂の状態と、寄生率を調べた。その結果、カイロモンにさらした区では、蜂の平均寿命が12.2日だったのに対し、無処理区では10.6日(1%水準で有意)であった。寄生率は、処理区では50.4%だったのに対し、無処理区では43.0%であった(1%水準で有意)。また、これらの卵から発育した蜂の成虫数は、処理区では平均110.8頭、無処理区では80.6頭であった(1%水準で有意)。これらの結果から明らかなように、蜂をカイロモンにさらすことによって、寄生蜂の寿命が延び、産卵力が強化され、より多くの蜂の子孫が残ることが示されたわけである。

4 放飼前のカイロモン処理の影響

寄生蜂を放飼した場合、逃げて分散するのを抑え、寄主を発見するまでの探索行動を引き起こす刺激として、カイロモンを利用することが、GROSS ら (1975) によって、卵寄生蜂の *T. pretiosum* と幼虫寄生蜂である *M. croceipes* を用いて検討された。

M. croceipes の場合——放飼前に一定時間、蜂をタバコガ幼虫の糞にさらし、温室で放飼後、葉上にピンで止めた幼虫の寄生率を調べた。前もって糞で刺激しなかった蜂は、放飼と同時に、正の走光性を示し、温室の天井に飛んでいったのに対し、刺激した蜂は、分散の傾向を見せず、寄主探索飛行を行った。寄生率は、刺激した場合が27.6%であったのに対し、刺激しないほうは0%であった。

T. pretiosum の場合——羽化と同時に、タバコガの鱗粉にさらしておいた蜂を野外で放飼し、自然状態で産卵された *Heliothis* spp. の卵に対する寄生率を調べ、無処理の蜂を放飼した場合と比較したところ、処理した蜂の30.5%に対し、無処理の蜂では21.0%であった(2%水準で有意)。

これらの実験から、両寄生蜂において、放飼前のカイロモンの刺激が寄主探索行動を引き起こし、その結果、寄生率の増加につながることが証明されたわけである。カイロモンのこのような利用法は、害虫管理システムの中で有効な一手段となりうることを LEWIS ら (1976) は指摘している。

III マーキング・フェロモン

寄生蜂にとって、寄主が既寄生か、未寄生かを識別することは、過寄生を避けるためにも重要である。この識別には、寄主発見の各レベルで、化学物質(マーキング・フェロモン)が関与することが示されている(VINSON, 1976)。

まず、探索の段階でマーキングを行う場合がある。この場合には、次に来た寄生蜂が、寄主にたどりつく前に、既に探索された場所を避けることで、寄生能率を上げることができる。ヒメバチ科の *Pleolophus* 属、*Endasyus* 属、*Mastrus* 属の寄生蜂は、同種個体間のみならず、同属間、異属間でも、既に探索されているかどうかの識別を行うという(PRICE, 1970)。

寄主自身に対するマーキングは、寄主の外部と内部に分けられる(VINSON, 1976)。前者は、産卵管挿入前に、後者は、産卵管の挿入後認知される。前述の *T. evanescens* は、この外部と内部両方のマーキングを行い、外部のマーキングは、揮発性の物質であることが証明さ

れた (SALT, 1937)。同様の二重のマーキングは、前述の *O. lepidus* でも見られる (GREANY ら, 1972)。これらのマーキング・フェロモンの分泌源や化学的性質についての研究は少ないが、コマユバチ科の *C. nigriceps* や *M. croceipes* では、*Dufour* 腺が分泌源で、その炭化水素画分に最も活性があることが示された (VINSON ら, 1972; GUILLOT ら, 1974)。

VINSON (1977) は、マーキング・フェロモンの応用について、二つの方法が考えられるとしている。その一つは、雑草の生物的防除における利用である。雑草を天敵導入により防除しようとする場合に問題となるのが、天敵が寄生昆虫や捕食者によって、増殖を妨げられることである。その寄生昆虫がマーキングを行う場合には、そのマーキング・フェロモンを散布し、寄生を防ぎ、天敵の効率を高めることが考えられる。もう一つの方法は、二次寄生蜂の行動制御である。天敵として寄生蜂を利用する場合、二次寄生蜂により増殖が抑えられる場合がある。この二次寄生蜂がマーキングを行うなら、この物質を散布することにより、一次寄生蜂を攻撃から守ることが考えられる。

これらの利用法は、理論上のものに過ぎないが、可能性を追究してみる必要がある。

IV 産卵行動制御物質の機能の分類に みられる複雑性

寄生蜂が、ある化学物質を手掛かりとして寄主を探す場合、一般にこの物質はカイロモンと呼ばれている。この言葉は、BROWN ら (1970) によって提唱され、「生物体により作られ、または獲得され、自然界で他種個体に接触した場合、受け取る側に適応的に有利な行動、あるいは生理的応を引き起こす物質」と定義された。前述の寄主生息場所の発見の項でも示したように、寄主の存在に関係なく、寄主の食餌植物に寄生昆虫が誘引される例は多い。この場合の植物においては、寄生昆虫と植物の両者に有利に働く物質として、シノモンと呼ぶことが提唱されている (NORDLUND ら, 1976)。また、コマユバチ科の *C. nigriceps* は、損傷を受けたタバコの葉に誘引され、この損傷がタバコガの1種 *H. virescens* の摂食によるものであれば、刺激され、まわりの植物組織を集中的に探索するようになるという。この場合の手掛かりとなる物質は、分類が困難である。NORDLUND ら (1976) は、「これら寄主発見手段となる化学物質が、植食性昆虫の活動の結果としてのみ植物から由来したか、あるいは、その昆虫に由来した物質と組み合わせただけのものなら、カイロモンと考えるべき」と言っている。

LAING (1937) は、コマユバチ科の *Alysia manducator* とアシトコバチ科の *Nasonia vitripennis* が、寄主のハエの蛹がいなくても、肉に誘引されることを証明した。この場合は、今までのどの分類にも当てはまらず、NORDLUND ら (1976) は、アブニューモンと呼ぶことを提唱している。彼らの定義によれば、「無生物から出され、受けとる生物に適応的に有利な行動や、生理的応を引き起こすが、無生物中の他種生物には不利となる物質」とある。探索、あるいは産卵のマーキングについては、前述の例にも見られるように、同種間で認知する場合にはフェロモンであるが、異種間で認知される場合にはアロモン、またはシノモンとなるであろう。このように、寄生性昆虫の場合、食植性昆虫が、寄主植物のにおいをカイロモンとして利用している場合のような単純なものではなく、寄生性昆虫の適応に応じて、非常に複雑な系から成り立っていることがある。このような物質をその機能から分類する場合には、以上のような困難が付きまとう。しかし、ここで重要なのは、物質の定義に振り回されることなく、寄生昆虫が寄主発見の手段として、様々な方法を身に付け、適応している事実を見定めることであろう。

おわりに

近年の性フェロモンによる害虫防除の試みにも見られるように、総合防除の一環として、害虫の行動制御による防除法が研究されている。この考えは、天敵昆虫にも応用され、実用化を目指して発展しつつあることは、今までに紹介したとおりである。しかし、ある種で開発された防除法が、他の害虫の場合に適用できるとは限らないことは、寄生昆虫と寄主の関係の多様性を見ても明らかである。そして、この防除法開発に必要なことは、行動や生態の綿密な基礎的研究であり、それを経て初めて応用への可能性が見いだされるのではないだろうか。稿を終えるにあたって、本稿の校閲並びに御指導下さった農業技術研究所の玉木佳男博士、文献を提供して下さい京都大学の北村実彬博士に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 1) ARTHUR, A. P., et al. (1969) : Nature 223 : 966~967.
- 2) ——— (1972) : Can. Ent. 104 : 1251~1258.
- 3) BROWN, W. L., et al. (1970) : Bioscience 20 : 21~22.
- 4) CAMORS, F. B. and T. L. PAYNE (1971) : Env. Ent. 2 : 267~270.
- 5) DOUTT, R. L. (1959) : Ann. Rev. Ent. 4 : 161~182.

- 6) 古橋嘉一 (1979) : 植物防疫 33 : 17~22.
- 7) GREANY, P. D. and E. R. OATMAN (1972) : Ann. Ent. Soc. Am. 65 : 377~383.
- 8) ——— et al. (1977) : J. Chem. Ecol. 3 : 189~195.
- 9) GROSS, H. R. et al. (1975) : ibid. 4 : 431~438.
- 10) HEGDEKAR, B. M. and A. P. ARTHUR (1973) : Can. Ent. 105 : 787~793.
- 11) GUILLOT, F. S. et al. (1974) : Ann. Ent. Soc. Am. 67 : 720~721.
- 12) HENDRY, L. B. et al. (1973) : Ent. Exp. and Appl. 16 : 471~477.
- 13) HENSON, R. D. et al. (1977) : J. Chem. Ecol. 3 : 151~158.
- 14) 平野千里 (1978) : 昆虫行動の化学 (共著), 培風館, 東京, 242 pp.
- 15) 広瀬義躬 (1978) : 種の生活における昆虫の行動 (共著), 培風館, 東京, 183 pp.
- 16) 本田 洋 (1978) : 植物防疫 32 : 9~14.
- 17) JONES, R. L. et al. (1971) : Science 173 : 842~843.
- 18) ——— (1973) : Env. Ent. 2 : 593~596.
- 19) LAING, J. (1937) : J. Anim. Ecol. 6 : 298~317.
- 20) LEWIS, W. J. et al. (1971) : J. Econ. Ent. 64 : 557~558.
- 21) ——— (1972) : Ann. Ent. Soc. Am. 65 : 1087~1089.
- 22) ——— (1975) : J. Chem. Ecol. 1 : 343~347.
- 23) ——— (1975) : ibid 1 : 349~360.
- 24) ——— (1976) : Behav. Biol. 16 : 267~289.
- 25) ——— (1979) : J. Chem. Ecol. 5 : 673~680.
- 26) NORDLUND, D. A. et al. (1976) : ibid. 2 : 67~72.
- 27) ——— and W. J. LEWIS (1976) : ibid. 2 : 211~220.
- 28) PRICE, P. W. (1970) : Science 170 : 546~547.
- 29) READ, D. P. et al. (1970) : Can. Ent. 102 : 1567~1578.
- 30) SALT, G. (1935) : Proc. Roy. Soc. London Ser. B 117 : 413~435.
- 31) ——— (1937) : ibid. 122 : 57~75.
- 32) 玉木佳男 (1978) : 昆虫行動の化学 (共著), 培風館, 東京, 242 pp.
- 33) VINSON, S. B. and W. J. LEWIS (1965) : J. Econ. Ent. 58 : 869~871.
- 34) ——— (1968) : Ann. Ent. Soc. Am. 61 : 8~10.
- 35) ——— and F. S. GUILLOT (1972) : Entomophaga 17 : 241~245.
- 36) ——— (1975) : Evolutionary Strategies of Parasitic Insects and Mites. ed. P. W. Price, Plenum, N. Y., 225 pp.
- 37) ——— et al. (1975) : Ent. Exp. and Appl. 18 : 443~450.
- 38) ——— (1976) : Ann. Rev. Ent. 21 : 109~133.
- 39) ——— (1978) : Biological Control by Augmentation of Natural Enemies. ed. R. L. RIDGWAY and S. B. VINSON, Plenum, N. Y. & London, 480 pp.
- 40) WAAGE, J. K. (1978) : Physiol. Ent. 3 : 135~146.
- 41) 矢野栄二 (1979) : 植物防疫 33 : 490~497.

本会発行新刊図書

イネミズゾウムシの生態と防除

農林水産省農蚕園芸局植物防疫課 監修

700 円 送料 120 円

A 5 判 口絵カラー写真 8 ページ, 本文 19 ページ

イネミズゾウムシの卵, 幼虫, 蛹, 成虫, 根部を食害している幼虫, 根に付着している土繭, 田植え直後及び田植え1か月前後の被害, 幼虫による被害, 被害水田全景, 幼虫による被害株と健全株, 雑草(ヒエ)への加害, 飛しょう(葉先に集まった成虫及び飛び立つ寸前), イネミズゾウムシ・イネハモグリバエ及びイネドロオイムシによる食痕のカラー写真17枚を8ページにまとめ, 本文では形態及び生態等, 発生状況及び被害状況, 調査方法, 防除, 我が国への侵入を解説し, 参考文献及び資料を19ページにまとめた書

アブラムシの警報フェロモン

三菱化成生命科学研究所 にし の ちか お
西 野 親 生

I アブラムシについて

アブラムシは、半翅目に属し、体長2mm前後の小さな昆虫である。この昆虫は、世界に3,000種類以上もいると言われ、日本ではその1/3ぐらゐが発見されている。これらは、アブラムシ科、ワタアブラムシ科、カサアブラムシ科、ネアブラムシ科の4科に分類されている。

アブラムシの生活環は、非常に複雑で一概には言えないが、一般には1生活環において2種類以上の植物を寄主としており、春から秋にかけて、単為生殖を繰り返して大変な数に増殖する。秋には翅を持った有性虫が生じ、冬は受精卵で過ごす。

アブラムシの被害は、ほとんどの植物に及ぶと言っても過言ではない。なかでもアブラムシ科のものは、人間の生活に直接、間接に関係する、野菜、果物、花などの栽培植物や牧草などに多大の被害を与える。この昆虫は、植物の汁を吸うのに便利な口器、つまり口針を持ち、この口針による吸汁によって、植物を死に至らしめ

ることも珍しくない。この様な、直接的な食害にも増して恐ろしいのは、この昆虫の持つ口針によって伝播される、植物のウイルス病である。この伝播は、ウイルスの獲得、伝播可能時間の短い非永続性伝播である。特に有翅世代では、保毒時間が短いにもかかわらず、移動距離も長く、多方面に飛しょうので、このモルフによるウイルス媒介が最も問題となる。

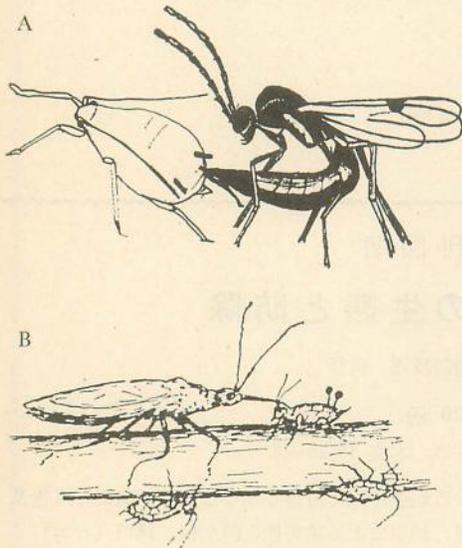
アブラムシは、1生活環でおびただしい数に増殖する。もしこれがそのまま増え続ければ、地球上の多くの植物は甚大な被害を受けることになるが、この昆虫にも多くの天敵があり、例えば VAN EMDEN ら¹⁾によると、モモアカアブラムシ *Myzus persicae* では寄生昆虫46種、捕食虫150種、捕食ダニ2種、病原糸状菌10種とされている。天敵の大部分は、寄生昆虫と捕食虫である。寄生昆虫は、第1図-Aのようにアブラムシの虫体に産卵し、これを幼虫の培地として使う。捕食虫はアブラムシを餌とするが、第1図-Bにはマキバサシガメ科の1種が、捕食しようとしている様子を示した。

II アブラムシの角状管分泌物

では、これらの天敵に対して、アブラムシは無防備なのであろうか。最近になり、尾端に近い管状組織である角状管より、揮発性の警報フェロモンを発生し、仲間を侵入者から守ることが知られてきた。

角状管は、腹部背面第6節付近にある、左右1個ずつで1対を成す管状組織であり、アブラムシ科のものではよく発達している。角状管から分泌物が出されることは古くから知られており、最初は食物由来の排泄物とみられたこともあったが、現在では、この分泌物の主成分はトリグリセリドであることが分かっている^{2,3)}。角状管からの分泌行動は、アブラムシの虫体が物理的刺激を受けたときに見られることが早くから観察されていたが、第1図にみられるような天敵の攻撃は、とりもなおさずアブラムシにとっては、生死にかかわる大きな物理的刺激であろう。それでは、天敵の攻撃と角状管分泌との関連はどうであろうか。

DIXON ら^{4,5)}によると、*Microlophium evansi* がテントウムシに捕食されそうになると、角状管より粘液を分泌して、相手の口に塗り付けたという。また、EDWARDS⁶⁾は、実験室でアブラムシの角状管分泌物に天敵が捕捉さ



第1図 アブラムシの天敵

A: 寄生蜂, *Aphidius* のアブラムシへの産卵 (SWEETMAN, 1958 より略写)。B: 捕食虫 (*Nabis*) がアブラムシを襲ったところ (NAULT, 1973 の一部)。

れたというが、この点については疑問視する向き⁷⁾が多い。しかし、いずれにしても“天敵—角状管からの分泌”という視点に立っての研究である。

DAHL⁸⁾は、アブラムシの虫体に、仲間の個体を忌避させる物質があることを認めた。KISLOW⁹⁾は、更に研究を進め、*M. persicae* を人為的に刺激して、得られた角状管分泌液をろ紙に吸いとらせた後、これをアブラムシのコロニーに近づけると、アブラムシはこの分泌物を忌避し、遠ざかったり、葉から落下するのを見いだした。そのうえ、この忌避作用は6種類のアブラムシの間で、ほとんど種特異性のないことも観察している。その後 NAULT¹⁰⁾は、この作用物質は角状管のみから分泌されることを示した。これらの事実は、アブラムシが仲間に警報作用を持つ防御物質を、角状管から発散させている可能性を示している。もし、この物質が防御物質として機能しているのなら、アブラムシの生活上最大の危険にさらされる、天敵の攻撃に対して出されるべきであろう。

この点について、NAULT¹⁰⁾は、捕食虫が捕食行動を開始すると、アブラムシは角状管より分泌物を出し仲間に警報することを認めた。また GOFF⁷⁾は、寄生昆虫に対しても産卵管が刺入されたときに同様の現象を観察している。これらの研究により、アブラムシは天敵の襲撃に対して、角状管より警報フェロモンを発生し、仲間への被害の波及を防ぐことが間違いないところとなった。

III 警報フェロモンに対するアブラムシの応答

警報フェロモンは、アブラムシの行動を機敏にする。静止していたアブラムシがフェロモンを感知すると、アブラムシの種類によって異なるが、体を激しく震わせたり、歩行によってフェロモン源より逃げたり、寄生している植物から転がり落ちたり、あるいは跳躍による逃避行動を示す。

このような応答行動の種類、強弱は、アブラムシの種類、モルフ、フェロモンの濃度によって異なる。これらに関する詳しい報告は、最近 MONTGOMERY¹²⁾らによって成された。彼ら¹²⁾は、(E)- β -farnesene (後述、EBF と略す)を警報フェロモンとして利用している Aphidinae と Chaitophorinae に属するアブラムシ 14 種類を用いて、アブラムシの種類とフェロモン濃度との関係、フェロモンの量と行動の違いの関係などについて調べた。これによると、種類により応答(コロニーの 50% が応答する)を起こすフェロモン濃度は異なるが、0.02~100 ng の範囲ですべて応答する。概して低濃度では歩行する行

動(walking)がみられ、濃度を増すと、転がりや跳躍などの、寄主植物からの落下行動(falling)をするようになる。マメノヒゲナガアブラムシ *Acyrtosiphon pisum* や *Schizaphis graminum* は walking をせず、低濃度で falling を開始する。アリと共生する Chaitophorini や Aphidini などは全く falling をせず、walking ののみをする。更に、コロニーが密なほど walking をし、疎なほど falling をすることや、草本に付くアブラムシは falling が多く、背の高い木本に付くものは walking をすること、なども報告している。この論文に、角状管分泌物中に警報フェロモンの活性を助長するような成分の存在を予想しており、最近言われている、性フェロモンでの minor component の重要性とあいまって興味のあるところである。

MONTGOMERY¹²⁾は *M. persicae* を使い、このアブラムシの成長過程と警報フェロモンの感受性との関係を研究した。有翅虫が無翅虫よりも感受性がよく、第1~2令幼虫や年をとった無翅虫は感受性が最も劣る。また有翅虫でも、摂食期にあるほうが感受性が少々劣るという。もし警報フェロモンが農業として使えるなら、このような基礎的研究から得られた知見は、大いに役立つものと思われる。

IV 警報フェロモンの化学

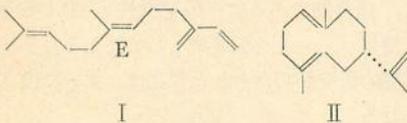
角状管より分泌される警報フェロモンは、どんな化合物であろうか。警報フェロモンの役割は、短時間になるべく広い範囲にいる個体に、危険を知らせなければならぬ。このことは、警報フェロモンが相当揮発性に富んでいることを意味している。したがってフェロモンは、角状管の分泌物の主成分であるトリグリセリドではなく、minor な成分中にあることが予想される。

アブラムシの警報フェロモンの化学構造は、現在までに2個のみが報告されている。これらの単離法や構造決定法については、筆者の小文^{13~15)}に述べてあるのでここでは省くことにする。

2個のフェロモンのうちの一つが、BOWERS¹⁶⁾と EDWARDS¹⁷⁾が単独に報告した、(E)- β -farnesene (EBF, I) である。BOWERS¹⁶⁾は、この化合物を *Macrosiphum rosae* など4種類のアブラムシ科アブラムシより単離した。更に EBF の活性試験から、*M. persicae* など6種類のアブラムシの警報フェロモンであることを示唆したが、予想どおり、EDWARDS¹⁷⁾は、*M. persicae* から EBF を警報フェロモンとして単離した。KISLOW⁹⁾、BOWERS¹⁶⁾により、アブラムシの警報フェロモンが、広範な活性スペクトルを持つことが示されたが、その後

WIENJENS ら¹⁸⁾ や MONTGOMERY ら¹⁹⁾ の研究からも、EBF の種特異性の少ないことが明らかにされた。同じ植物に、数種のアブラムシが寄生することは珍しくはない。他の種の発した危険信号 (EBF) を共同で利用するというので、このひ弱な昆虫が能率よく身を守ろうとしていることの表れかもしれない。

欧米諸国では酪農が盛んであるが、酪農家にとっては、牧草に付くアブラムシによる被害は大きな悩みの一つである。アルファルファやクローバーに付く *Therioaphis* 属のアブラムシは、EBF を警報フェロモンとしていない。そこで、BOWERS と筆者は、3種類の *Therioaphis* 属アブラムシが共通して所有する警報フェロモンの化学構造を明らかにしようと研究を行った。その結果、アルファルファアブラムシ *T. maculata* より活性物質の単離に成功し、その構造を (-)-germacrene-A (GA, II) と決定した^{19, 20)}。EBF は不安定な物質であるが、GA は EBF よりもはるかに不安定な化合物であり、その化学的合成にはいまだに成功していない。



V アブラムシの防除—特に警報フェロモンの応用の可能性に関して

アブラムシの防除には、殺虫剤による防除、耕種的防除法、物理的防除、天敵の利用、など種々の防除法が既に行われている。筆者は、アブラムシの防除にまだ実用化されていないが、警報フェロモンが利用できないであろうかと考え、ここに、その可能性など少しく展望してみたい。

警報フェロモンを、農薬として使用する際に利点として考えられることは、①活性が強いこと、②種特異性が少ないこと、③性やモルフに関係なく効力がある、④人畜に無害である、⑤抵抗性がないこと、⑥残留性がないこと、などである。その反面欠点としては、①極めて揮発性に富むこと、②不安定である、③まだ2種類のフェロモンの化学構造を知るのみであるが、①、②の要素も手伝って合成の困難なものが多いと思われること、などである。特に①と②に挙げた欠点は、長所をも上回るほど実用化には問題な点となろう。

まず最初に考えられる方法は、アブラムシの寄生植物の周囲を、フェロモンで満たすことである。この場合、既に植物にアブラムシが寄生していれば、フェロモンのもつ忌避作用により、アブラムシはフェロモンのない

ところに逃避するであろう。植物がアブラムシに侵されていない段階で警報フェロモンを散布すれば、フェロモンのふん囲気中にある植物には、アブラムシは近づこうとはしない。モルフや種類によるフェロモン感受性に差はあるにしても、少々高濃度にフェロモンを使用すれば、各種アブラムシの幼虫から有翅の世代に至るまで有効である。特にウイルスの伝播上一番問題となる有翅虫が最も警報フェロモンに感度が高いことを考えると、警報フェロモンの散布は意外に利用価値のあることかもしれない。

次に考えられる方法は、上に述べた方法の延長線上に位置するとも思えるが、警報フェロモンによりアブラムシが落下あるいは歩行により植物から降りてくる行動を利用するものである。つまり、植物の下や、畝と畝の間に殺虫剤や粘着剤によるトラップを設置して、落下してくる虫体を捕獲殺する方法である。特に野菜に付くものでは落下行動をするものが多いので有効であろう。また、木本に寄生するものでは警報フェロモンにより歩行降下するものが多いので、その通路となる幹に殺虫剤を塗布しておくのも一つの方法である。ただし、この第2の方法は、手間と経済的な問題がつきまとう可能性がある。始めに挙げた方法は、虫を近づけない、あるいは追い払うという方法であるが、防除の本来の意味からは、害虫を殺すという、後で述べた方法を真剣に考える必要があるかもしれない。

いずれの方法にしても、警報フェロモンの揮発性を考慮に入れると、ビニールハウスなどの閉鎖系で最も効率が上がることが予想される。しかし、アブラムシの警報フェロモンに対する反応が、感知して30秒以内であるので、ほ場においても高濃度に散布すれば、フェロモンが揮散消失する前に効力が現れると思われ、開放系での使用も検討すべきである。ただし、この場合でも、地上に落ちたアブラムシの殺虫法を解決しておかねばならない。

アメリカでは、アブラムシの警報フェロモン及びその類縁体を利用した防除法の研究が始まったと聞いているが、詳しい報告はまだない。我が国でも総合防除の立場から、これからの各専門家の研究と協力に期待したい。

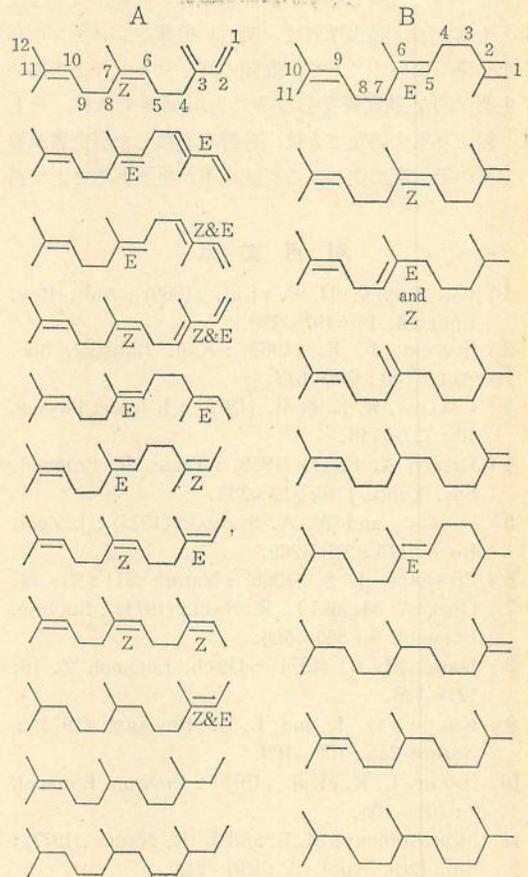
警報フェロモンとは直接関係はないが、最近アブラムシと同様の吸汁機構を持つウンカの probing と sucking を制御する植物成分の研究が行われており、probing を刺激する物質²¹⁾ と sucking を阻害する物質²²⁾ が報告されている。アブラムシにおいても、寄主選択性を基礎に、ウンカの例のごとく植物側からの化学的研究も防除に参考となる知見を与えることであろう。

警報フェロモンの欠点である揮発性の問題であるが、このフェロモンの本来の機能からいって、揮発性の低いアナログの開発はあまり意味を持たず、むしろ揮発速度をコントロールする方法を考案すべきである。筆者がかって EBF を用いて屋内ではあるが試験をしてみると、EBF を両端の開いた毛細管に入れたほうが紙に吸い込ますよりも数倍効力が長持ちした。発散速度のコントロールに、性フェロモンに用いられている²³⁾ マイクロカプセルを利用する方法は大いに興味がある。マイクロカプセルはフェロモンの揮発を制御できるうえに、工夫により外気や日光からフェロモンを遮断して、今一つの欠点である警報フェロモンの不安定性も抑えることもできよう。この方面での研究が待たれる。

IV 警報フェロモンの類縁体

アブラムシの警報フェロモンが不安定で、概して合成しにくいことは既に述べたが、この原因ははっきりしていない。EBF では共役二重結合に、また GA では2環性の化合物に急速に変換することが不安定の要因ともみられる。そこで実用上、安定で合成の容易な警報作用物質の開発が必要となってくる。

筆者と BOWERS は、この観点に基づき、活性な EBF の類縁体を得ることを試みた。EBF の二重結合の数、位置、幾何異性に着目し、まず、15 個の炭素からなるファルネセン類を EBF を含めて 12 個合成した^{24,25)} (第2図-A)。次に幾何異性の要素を減らしたノルファルネセン類 (炭素数 14 個) を合成した^{25,26)} (第2図-B)。そしてこれらの化合物を表にあげた3種類のアブラムシで生理活性試験を行った結果、下表にみられるように、3個の化合物に顕著な活性をみるに至った^{26,27)}。これらの化合物は EBF より活性において劣るが、はるかに安定で合成しやすい。このように、活性な類縁体を得ようとす



第2図 合成ファルネセン
A：ファルネセン類，B：ノルファルネセン類

る研究は、化学者の今後の課題とも言えよう。

おわりに

化学者にとっては、まだ明らかにされていないアブラムシの警報フェロモンの化学構造を決めること、これに

合成ファルネセンの警報フェロモン活性

	アブラムシの 50% が応答* するのに必要な量 (ng)		
	<i>Schizaphis graminum</i>	<i>Acyrtosiphon pisum</i>	<i>Myzus persicae</i>
EBF	0.05	1~4	0.2
	2~20	20~200	20~200
	2~20	20~200	20~200
	0.2~2	5~20	2

* 歩行または落下行動

基づく安定で合成しやすい活性類縁体の開発が大きな仕事とも言える。昆虫学者は、新しい警報フェロモンの存在を示唆していくことや、既知のフェロモンなどを用いて生物学的な基礎研究をすることが必要である。そして、何よりも大切なことは、分野を異にした研究者が協力してこそ、真に実のある研究成果が生まれることである。

引用文献

- 1) VAN EMDEN, H. F. et al. (1969) : Ann. Rev. Entomol. 14 : 197~270.
- 2) STRONG, F. E. (1967) : Ann. Entomol. Soc. Amer. 60 : 668~673.
- 3) CALLOW, R. K. et al. (1973) : J. Insect Physiol. 19 : 737~748.
- 4) DIXON, A. F. G. (1958) : Trans. R. Entomol. Soc. Lond. 110 : 319~334.
- 5) ——— and W. A. STEWART (1975) : J. Zool. Lond. 175 : 279~289.
- 6) EDWARDS, J. S. (1966) : Nature 211 : 73~74.
- 7) GOFF, A. M. and L. R. NAULT (1974) : Environ. Entomol. 3 : 565~566.
- 8) DAHL, M. L. (1971) : Dtsch. Entomol. Z. 18 : 121~128.
- 9) KISLOW, C. J. and L. J. EDWARDS (1972) : Nature 235 : 108~109.
- 10) NAULT, L. R. et al. (1973) : Environ. Entomol. 2 : 101~105.
- 11) MONTGOMERY, M. E. and L. R. NAULT (1977) : Ent. Exp. Appl. 22 : 236~242.
- 12) ——— (1978) : Ann. Entomol. Soc. Amer. 71 : 788~790.
- 13) 西野親生 (1977) : 化学と生物 15 : 276~285.
- 14) ——— (1977) : 化学 32 : 717~724.
- 15) ——— (1979) : 昆虫の生理と化学, 日高他編, 喜多見書房, p. 279~299.
- 16) BOWERS, W. S. et al. (1972) : Science 177 : 1121~1122.
- 17) EDWARDS, L. J. et al. (1973) : Nature 241 : 126~127.
- 18) WIJNTJENS, W. H. J. M. et al. (1973) : Experimentia 29 : 658~660.
- 19) BOWERS, W. S. et al. (1977) : Science 196 : 680~681.
- 20) NISHINO, C. et al. (1977) : J. Chem. Ecol. 3 : 349~357.
- 21) 金 武祚ら (1979) : 日本農芸化学会大会講要集, p. 459.
- 22) ——— (1979) : 昆虫の生理と化学, 日高他編, 喜多見書房, p. 121~138.
- 23) GRANETT, J. and C. C. DOANE (1975) : J. Econ. Entomol. 68 : 435~437.
- 24) NISHINO, C. and W. S. BOWERS (1977) : Tetrahedron 32 : 2875~2877.
- 25) BOWERS, W. S. et al. (1977) : J. Insect Physiol. 23 : 697~701.
- 26) NISHINO, C. et al. (1976) : Appl. Ent. Zool. 11 : 340~343.
- 27) ——— (1976) : Agric. Biol. Chem. 40 : 2303~2304.

人事消息

木下 彰氏 (東北農業試験場環境部長) は北海道農業試験場農芸化学部長に
 越水幸男氏 (草池試験場環境部長) は東北農業試験場環境部長に
 柚木利文氏 (東北農業試験場環境部病害研究室長) は北陸農業試験場企画連絡室長に
 富岡真平氏 (長野県農業総合試験場長) は長野県農政部長に
 浜島直巳氏 (同上県野菜花き試験場長) は同上県農業総合試験場長に
 戸田正行氏 (同上県農事試験場作物部長) は同上県農事試験場長に
 高野利康氏 (同上県中信地方試験場畑作栽培部長) は同上県野菜花き試験場長に
 鎌田嘉孝氏 (同上県南信地方試験場環境部長) は同上県野菜花き試験場環境部長に
 関口昭良氏 (同上県野菜花き試験場環境部) は同上県中

信農業試験場畑作栽培部長に
 原田敏男氏 (同上県農業総合試験場情報普及部専門技術員) は同上県南信農業試験場環境部長に
 今村昭二氏 (同上県南信地方試験場主任研究員) は同上県農業総合試験場情報普及部副主任専門技術員に
 若林英男氏 (同上県農政部長) は退職
 飯田一郎氏 (同上県農事試験場長) は退職
 萩原博司氏 (同上県野菜花き試験場環境部長) は退職
 関 道生氏 (佐賀県果樹試験場病害虫研究室長) は佐賀県果樹試験場長補佐に
 貞松光男氏 (同上県果樹試験場特別研究員) は同上県果樹試験場病害虫研究室長に
 実松孝明氏 (同上県果樹試験場病害虫研究室) は同上県農林部農業振興課へ
 津川 力氏 (青森県畑作園芸試験場長) は青森県りんご試験場長に
 工藤祐基氏 (青森県りんご試験場病虫害部長) は青森県畑作園芸試験場長に

カメムシ類の臭腺分泌物の化学構造と機能

—防御・警報, 集合, 生殖をめぐる—

京都大学農学部農業研究施設 ^{きた}北 ^{むら}村 ^{ちか}實 ^{よし}彬

はじめに

地球上に生息する動物は多かれ少なかれ、同種の、あるいは異種の他個体との間に何らかの相互作用を持っている。このような相互作用の一つに、捕食—被捕食、寄生—被寄生の関係がある。ある捕食者が特定の餌だけを対象としていることがまれであるように、ある被捕食者(餌)が特定の捕食者だけにねらわれるということもまたまれである。このような関係にあっては、種々の餌を発見し捕らえる能力のあるものがよりよく生き残ることになり、捕食者は、外骨格系の変形、行動様式の特殊化などの捕食戦略を発達させることになる。それに対し、餌動物のほうも、捕食者に対する防御的適応 (defensive adaptation)* (対捕食者戦略) を発達させるようになる。

対捕食者戦略という観点から、COTT (1940) は、動物の色彩には、隠ぺい (concealment)、宣伝 (advertisement)、変装 (disguise) という適応的意義があることを述べている。多くの動物は、こうした適応的色彩以外にもさまざまな防御手段を持っている。それらは、EDMUNDS (1974) によると、① 近くに捕食者がいる、いないにかかわらず働き、捕食者との出会いを減らすように作用する第1次防御 (primary defense) と、② 捕

第1表 動物でみられる捕食者に対する防御機構 (EDMUNDS, 1974)

- | | |
|----|------------------------------|
| I | 第1次防御 (primary defence) |
| 1 | 隠とん (anachoresis) |
| 2 | 隠ぺい (crypsis) |
| 3 | 警戒色 (aposematic coloration)* |
| 4 | ベーツ擬態 (Batesian mimicry) |
| II | 第2次防御 (secondary defense) |
| 1 | 隠れ場所への引っ込み (withdrawal) |
| 2 | 飛しょう (flight) |
| 3 | 驚かし行動 (deimatic behavior) |
| 4 | 擬死 (thanatosis) |
| 5 | はぐらかし (deflection) |
| 6 | 攻撃的防御 (retaliation) |

* ミュラー擬態 (Mullerian mimicry) は、ここに入る。

* 湿度 (乾燥)、高・低温といった物理的環境に対する適応は、防御的適応と区別して、保護的適応 (protective adaptation) と呼ばれる (EDMUNDS, 1974)。

食者と出会ったときに発現され、生存の機会を増加させるように作用する第2次防御 (secondary defense) とに分けることができる (第1表)。

カメムシ類は、指などでつまむといやなニオイを出す「化学兵器」で武装した昆虫たちの一つとして古くから知られている。本稿では、防御機構を中心にカメムシの臭腺分泌物の機能について考察してみたい。

I 目立つカメムシと目立たないカメムシ—カメムシの第1次防御—

樹幹部にいるクサギカメムシや、葉上にいるミナミアオカメムシなどを見付け出すのはかなり困難である。夏の間緑色であり、葉上で見付けにくかったチャバネアオカメムシが、冬が近づくと茶褐色の越冬型に変化し、枯れ草などと見分けにくくなってくるのをみると、“隠ぺい”ということが、多くのカメムシで重要な防御機能を果たしているのではないかということが推察される。事実、カメムシ全般を見渡してみると、一番多い色は茶褐色、次いで緑色である (川沢・川村, 1975)。カメムシの多くは隠ぺい色であることによって捕食を免れているという考えは、検討してみる価値があると思う。

では一方で、ナガカメムシ科 (Lygaeidae) のうち、Lygaeinae に属する種は、たいてい赤と黒の目立つ色をしているのは、どう説明すればよいのだろうか。

セイヨウキョウチクトウ *Nerium oleander* を吸汁している *Caenocoris neri* の虫体抽出物から、5種類の cardenolide (強心配糖体, cardiac glycoside とも言う) が確認された。*N. oleander* 中には 28 種の cardenolide が含まれているが、そのうち 5 種が、*C. neri* 虫体内に蓄積されていたことになる (VON EUW, 1971)。ガガイモ科 (Asclepidaceae) の植物の多くは、cardenolide を含むことが知られているが、トウワタの一種 *Asclepias* で採集した *Lygaeus kalmii kalmii*, *L. kalmii angustomarginatus*, *Oncopeltus fasciatus*, *O. sandarachatus* も cardenolide を体内に持っている。博物館に保存してある Lygaeinae の標本 52 種を、クロロホルム—メタノール (2:1) に浸漬し、浸漬液を分析したところ、すべてから cardenolide が検出された。一方、*Asclepias syriaca* の種子で育てた *Oncopeltus fasciatus* は、car-

denolide を体内に含有しているが、ヒマワリの種子で育てた *O. fasciatus* からは見付からなかった (SCUDDER and DUFFEY, 1972)。これらの事実から、赤と黒のいわゆる警戒色 (aposematic coloration) をした Lygaeinae の多くは、寄主植物中に含まれる cardenolide を体内に蓄積しており、オオカバマダラの例 (BROWERS and BROWERS, 1964) でみられたように、“不味である”ことを標識化することによって、捕食者の攻撃を避けていると考えられる。

このことは、Massachusetts 州のブドウ園の中にある島で行われた JONES (1932) の実験によっても支持される。彼は、島にある森の外れの平地に設置した小さな台の上に、各種の昆虫の入った皿を置き、鳥による捕食を観察した。よく訪れた鳥は、アオカケス、ワキアカトウヒチョウ、オオクロムクドリモドキ、ネコマネドリ、コマツグミ、ウタスズメなどであった。昆虫は、すべて皿に入れる前に殺し、一定時間ごとにどの種が食べられているかを記録した。例えば、午前9時4分に13種40頭の昆虫をセットしたが、11分後には2種9頭を除いてすべて食べられていた。そのうちの1種 *Lygaeus kalmii* は、供試した5頭とも食べられずに残った。取り合わせの“メニュー”をいろいろ変えて、27頭の *L. kalmii*

とともに、計 482 頭 of 他種の昆虫が供試されたが、*L. kalmii* は一頭も捕食されなかった (JONES, 1932)。同様な赤と黒の警戒色をしている *Oncopeltus fasciatus* (Lygaeidae), *Dysdercus andreae*, *Euryopthalmus sellatus* (どちらも Pyrrhocoridae) をトカゲ *Anolis sagrei* の飼育容器中に入れ一夜放置したが、捕食されなかった (PARSONS, 1940)。そのときに、例えばゴキブリの若虫を入れると、それらはすぐに食べられた。したがって *Anolis* は、明らかに空腹であったにもかかわらず、目立つ色のカメムシを避けたと結論できた (DARLINGTON, 1938)。

はじめにも述べたように、カメムシの多くは茶褐色や緑色の目立たない色をして隠べいしたり、あるいは逆に赤や黒の目立つ色で、不味であることを標識化したりすることによって、“化学兵器”を使用する機会、つまり捕食者との出会いを減らしているものと推察される。

II カメムシのニオイ—防御・警報—

カメムシを指でつまんだりすると、強烈なニオイの分泌物を放出することはよく知られている。カメムシの分泌物の化学的構造については、幾つかの科にわたって研究されている (第2表)。

第2表 陸生異翅亜目昆虫の分泌液の構成成分

種名	化合物名
PLATASPIDAE	
<i>Ceratocoris cephalicus</i>	tridecane
<i>Libyaspis angolensis</i>	propanal, butanal, E-2-hexenal, E-2-decenal, 4-oxo-E-2-hexenal
CYDNIDAE	
<i>Adrisa magna</i>	2-hexenal, 2-octenal
<i>Aethus nigrinus</i>	tridecane, pentadecane, 2-octenal, 2-decenal
<i>Macroscytus japonensis</i>	tridecane, 2-hexenal, 2-octenal, 2-decenal
<i>Macroscytus</i> sp.	dodecane, tridecane, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-octenyl acetate, E-2-decenyl acetate
<i>Scaptocoris divergens</i>	propanal, propenal, butenal, pentenal, 2-hexenal, heptenal, octenal, furan, methyl furan, toluquinone
PENTATOMIDAE	
<i>Aelia fieberi</i>	E-2-octenal, E-2-decenal
<i>Apodiphus amygdali</i> 成虫, 若虫	dodecane, tridecane, hexanal, octanal, decanal, hexenal, 4-oxo-2-hexenal, 4-oxo-2-octenal
<i>Aspongopus</i> sp.	undecane, dodecane, tridecane, pentadecane, 1-tridecene, E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 2-octenyl acetate
<i>Biprorulus bibax</i>	undecane, dodecane, tridecane, pentadecane, E-2-hexenal, E-2-decenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 2-decenol, E-2-hexenyl acetate, E-2-decenyl acetate E-2-hexenal
<i>Brochymena quadriputulata</i>	
<i>Carpocoris purpureipennis</i>	tridecane
<i>Caura rufiventris</i>	undecane, dodecane, tridecane, tetradecane, pentadecane, 1-tridecene, E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 2-octenyl acetate, 2-decenyl acetate
<i>Commius elegans</i>	decenal, decenyl acetate
<i>Delegorguella lautus</i>	undecane, dodecane, tridecane, tetradecane, pentadecane, 1-tridecene, E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 2-octenyl acetate, 2-decenyl acetate
<i>Dolycoris baccarum</i>	E-2-hexenal, E-2-octenal, E-2-decenal

種名	化合物名
<i>Eurydema rugosa</i>	tridecane, E-2-hexenal
<i>Eurydema pulchra</i>	tridecane, E-2-hexenal
<i>Eurygaster</i> sp.	E-2-hexenal, E-2-octenal
<i>Euschistus servus</i>	tridecane, E-2-hexenal
<i>Graphosoma rubrolineatum</i>	hexanal, E-2-decenal
<i>Halys dentata</i>	hexanal, octanal, 2-decenal, 2-butanone
<i>Menida scotti</i>	E-2-decenal
<i>Musgravia sulciventris</i>	undecane, dodecane, tridecane, pentadecane, E-2-hexenal, E-2-octenal, E-2-decenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-octenal, E-2-octenyl acetate, tridecenyl butanoate, tetradecenyl butanoate
<i>Nezara antennata</i>	E-2-decenal
<i>Nezara viridula</i> 胸部腹面腺 腹部背面腺	tridecane, E-2-hexenal, E-2-decenal
<i>Nezara viridula</i> var <i>smaragdula</i>	tridecane, hexanol, hexanal, E-2-hexenal undecane, dodecane, tridecane, E-2-propenal, E-2-butenal, E-2-hexenal, E-2-octenal, E-2-decenal, 2-butanone, 3-hexanone, 2-octanone, 2-hexen-4-one, 4-oxo-E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-octenal, E-2-hexenyl acetate, E-2-octenyl acetate, E-2-decenyl acetate
<i>Oebalus pugnax</i>	tridecane, E-2-heptenal
<i>Palomena viridissima</i>	2-hexenal, 2-octenal, 2-decenal
<i>Piezodorus teretipes</i>	E-2-hexenal
<i>Poecilometis strigatus</i>	E-2-hexenal, E-2-octenal
<i>Podisus maculiventris</i> 腹部背面腺	E-2-hexenal, benzyl alcohol, linalool, terpinen-4-ol, α -terpineol, cis-piperitol
<i>Scotinophora lurida</i>	E-2-octenal, E-2-decenal
<i>Tessaratoma aethiops</i> 成虫	tridecane, E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-octenyl acetate
若虫	tridecane, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Veterna patula</i>	undecane, dodecane, tridecane, tetradecane, pentadecane, 1-tridecene, E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, 2-octenyl acetate, 2-decenyl acetate
<i>Vitellus insulanicus</i>	undecane, dodecane, tridecane, E-2-decenal, 4-oxo-E-2-hexenal
COREIDAE	
<i>Acanthocephala declivis</i>	E-2-hexenal, acetic acid
<i>Acanthocephala femorata</i>	E-2-hexenal, acetic acid
<i>Acanthocephala granulosa</i>	E-2-hexenal, acetic acid
<i>Acanthocerus galeator</i> 成虫	E-2-hexenal, E-2-octenol, acetic acid, E-2-hexenyl acetate, E-2-octenyl acetate
若虫	E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-hexenol, E-2-octenol
<i>Acanthocoris obscuricornis</i>	hexanal, hexanol, hexyl acetate, acetic acid
<i>Acanthocoris sordidus</i>	hexanal, E-2-hexenal
<i>Agriopocoris frogatti</i>	hexanal, hexyl acetate, acetic acid
<i>Amblypelta nitida</i> 成虫	hexanal, hexyl acetate, hexanol, acetic acid, hexanoic acid, hexyl butanoate, butyl hexanoate, octyl acetate, 2-butyl 2-octenal, hexyl hexanoate
若虫	hexanal, hexyl acetate, hexanol, hexanoic acid, octyl acetate, 2-butyl 2-octenal, hexyl hexanoate
<i>Anoplocnemis dallasiana</i> 雄成虫	butanol, hexanal, hexanol, hexyl acetate, hexyl butanoate, acetic acid, butyl butanoate, octyl acetate
雌成虫	butanol, hexanal, hexyl acetate, hexyl butanoate, acetic acid, butyl butanoate
若虫	E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Anoplocnemis montandorii</i> 雄成虫	butanol, hexanal, hexanol, hexyl acetate, hexyl butanoate, acetic acid, hexanoic acid, butyl butanoate, octyl acetate
<i>Archimerus alternatus</i> 成虫	E-2-hexenal, E-2-hexenyl acetate, acetic acid, E-2-octenyl acetate
若虫	E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-hexenol
<i>Aulacosternum nigrorubrum</i>	hexanal, hexyl acetate, hexanol, acetic acid
<i>Chelinidea vittiger</i>	hexanal, hexyl acetate, acetic acid
<i>Holopterna allata</i> 雄成虫	butanol, hexanal, butyl butanoate, hexyl acetate, hexanol, hexyl butanoate, acetic acid, octyl acetate, hexanoic acid
雌成虫	butanol, hexanal, butyl butanoate, hexyl acetate, hexanol, hexyl butanoate, acetic acid
若虫	E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Hyocephalus</i> sp.	acetic acid, hexanal, hexanol
<i>Hypselonotus punctiventris</i>	acetic acid, hexanal

種名	名	化合物名
<i>Hygia opaca</i>		hexanal
<i>Leptoglossus clypealis</i>	成虫	hexanal, hexanol, acetic acid, hexyl acetate, hexyl hexanoate, E-2-octenyl acetate
	若虫	E-2-hexenal, 4-oxo-Z-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Leptoglossus clypeatus</i>		hexanal, acetic acid
<i>Leptoglossus oppositus</i>	成虫	hexanal, acetic acid, hexanol, hexyl acetate, hexyl hexanoate, E-2-octenyl acetate
	若虫	E-2-hexenal, 4-oxo-Z-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-hexenol
<i>Leptoglossus phyllopus</i>	胸部腹面腺	hexanal, hexanol, hexyl acetate, hexanoic acid, hexanal trimer, 2-butyl-2-octenal
	雄の生殖節分泌腺	benzyl alcohol, guaiacol, vanillin, methylparaben, syringaldehyde, acetosyringone
<i>Libyaspis angolensis</i>		propanal, butanal, E-2-hexenal, E-2-decenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Merochoris distinctus</i>		butanal, butanoic acid
<i>Mictis caja</i>		hexanal, butyl butanoate, hexyl acetate, hexanol, acetic acid
<i>Mictis profana</i>		hexanal, hexyl acetate, hexanol, acetic acid
<i>Mozena lunata</i>		hexanal, hexyl acetate, acetic acid
<i>Mozena obtusa</i>		hexanal, hexyl acetate, acetic acid
<i>Pachycolpura manca</i>		hexanal, hexyl acetate, hexanol, acetic acid
<i>Plinactus bicoloripes</i>		hexanal, octanal
<i>Pternistria bispina</i>	成虫	butanal, hexanal, hexanol, hexyl acetate, butanoic acid, hexyl butanoate, hexanoic acid, hexyl hexanoate
	若虫	E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal
<i>Stenocoris apicalis</i> (= <i>Leptocoris</i>)		hexanal, E-2-octenal, E-2-decenal, octyl acetate
ALYDIDAE		
<i>Alydus eurinus</i>	成虫	hexanal, hexanol, butanoic acid, hexanoic acid, butyl butanoate, hexyl acetate, hexyl butanoate, hexyl hexanoate
	若虫	E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-hexenol, E-2-octenol
<i>Alydus pilosulus</i>	成虫	hexanal, hexanol, butanoic acid, hexanoic acid, butyl butanoate, hexyl acetate, hexyl butanoate, hexyl hexanoate
	若虫	E-2-hexenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-octenol
<i>Megalotomus quinquespinosus</i>	成虫	2-methyl butanal, 2-methyl propanal, butanoic acid, 2-methyl propanoic acid, 2-methyl butanoic acid, butyl butanoate, 2-methylpropyl 2-methylpropanoate, 2-methylbutyl 2-methylpropanoate, 2-methylbutyl butanoate, butyl hexanoate, 2-methylbutyl hexanoate
	若虫	E-2-hexenal, E-2-octenal, 4-oxo-E-2-hexenal, E-2-hexenol, E-2-octenol
LYGAEIDAE		
<i>Caenocoris nerii</i>		adigoside, nerigoside, neritaloside, odoroside A, strosipeside
<i>Oncopeltus fasciatus</i>	成虫	2-hexenal, 2-octenal, 2,4-hexadienal, 2,4-octadienal, 2-hexenyl acetate, 2-octenyl acetate, 2,4-hexadienyl acetate, 2,4-octadienyl acetate
	若虫	2-hexenal, 2-heptenal, 2-octenal, 4-oxo-2-hexenal, 4-oxo-2-octenal
<i>Spilostethus pandurus</i>		nerigoside, odoroside H
PYRRHOCORIDAE		
<i>Dysdercus intermedius</i>	成虫	acetaldehyde, octanal, E-2-hexenal, 2-octenal, monoterpene hydrocarbon
	若虫	dodecane, tridecane, pentadecane, hexanal, 2-hexenal, 2-octenal, 4-oxo-2-hexenal, 4-oxo-2-octenal
REDUVIIDAE		
<i>Panstrongylus megistus</i>		iso-butyric acid
<i>Rhodnius prolixus</i>		iso-butyric acid
<i>Triatoma phyllosoma</i>		iso-butyric acid
CIMICIDAE		
<i>Cimex lectularius</i>		acetaldehyde, E-2-hexenal, E-2-octenal, 2-butanone
MIRIDAE		
<i>Leptopterna dolabrata</i>		acetaldehyde, E-2-octenal
<i>Lygus linearis</i>		ethyl butanoate, butyl acetate, E-2-hexenyl acetate, ethyl 2-hexenoate, butyl butanoate, ethyl hexanoate, hexyl acetate, hexenyl butanoate, hexyl butanoate, ethyl myristate, E-2-hexenal, Z-3-hexenol, phenyl acetaldehyde, indole, bonzothiazole

表から分かるように、Coreidae の成虫では hexanal, hexanol, hexyl acetate といった飽和化合物が多いが、Pentatomidae の成虫では、trans-2-hexenal, trans-2-decenal, 4-oxo-trans-2-hexenal などの不飽和化合物が多い。Pentatomidae のたいていの種では、同時に undecane, dodecane, tridecane といった直鎖の炭化水素が分泌される。これらの炭化水素は、昆虫の体表に高濃度に塗布すれば毒性があるという報告がある (PARRY and MORGAN, 1979) が、カメムシ自身はそれらには全く反応しない (CALAM and YOUDEOWEI, 1968) ということを考えると、炭化水素の機能としては、①揮発性の高いアルデヒド類の揮発を遅くする溶媒の作用をする、②アルデヒド類がクチクラ上をなめらかに広がって効果的に作用するのを助ける、などが考えられる。多くのカメムシ類では、分泌口の周りのクチクラが、複雑な構造の“蒸散エリア”を形成しており (REMOLD, 1962; FILSHIE and WATERHOUSE, 1968)、炭化水素が溶媒で、アルデヒド類が有効成分であるとの考えを支持する。だとすると Coreidae では炭化水素が存在しないのはどう考えればよいのだろうか。筆者らは、最近、カメムシの体から空中へ揮散された分泌物の成分を、Chromosorb 105 に吸着させ分析する方法を開発し、放出された分泌物の溶媒抽出物と比較分析を試みた (北村ら, 1979)。その結果、ホンハラビロヘリカメムシの分泌物 (溶媒抽出物) の主成分の一つである hexyl hexanoate は、Chromosorb 105 からはほとんど検出されなかった。このことから筆者は、Coreidae においては、butyl butanoate, hexyl butanoate, hexyl hexanoate といったエステル類が、Pentatomidae における炭化水素と同じ役目を果たしているのではないかと推論している。

Coreidae の若虫では、trans-2-hexenal, 4-oxo-trans-2-hexenal を分泌するものが多い。植物上で吸汁中に捕食者に襲われた場合、成虫は飛しょうという手段を用いることができるが、若虫は地面に落ちるとい以外に捕食者から逃れるすべはない。ところが地上には、更に別の捕食者であるアリが待っている。そこで、アリの警報フェロモンと構造の似ている hexenal, oxo-hexenal を分泌するようになったと考え、これは、REGNIER and WILSON (1971) の言う“super-pheromone”にあたると報告している (ALDRICH and YONKE, 1975)。

アルデヒド類が有効成分であるとして、Pentatomidae でみられる hexenal, oxo-hexenal, Coreidae における hexanal はどのようにして作られるのであろうか。trans-2-hexenal は、植物界に広く分布しており、カメムシは Lygaeidae における cardenolide のように、そ

れらを植物体から摂取し、選択的に濃縮するという可能性も考えられた (WATERHOUSE, et al., 1961)。室内で飼育しているミナミアオカメムシに、¹⁴C でラベルした酢酸ソーダを注射して 8 日後に分泌物成分を分析したところ 2-hexenal, 4-oxo-hexenal, hexenyl acetate, undecane + 4-oxo-octenal, dodecane, 2-decenal, tridecane, decenyl acetate のピークに放射能が検出された。このことから、植物成分を濃縮して分泌物に利用しているという考えは、一応否定された (GORDON et al., 1963)。たいていの Coreidae の分泌物中には hexanal が含有されるが、同時に、hexanol, hexyl acetate が検出される場合が多い。*Leptoglossus phyllopus* の後胸にある分泌腺を取り出してみると、内容物は二相になっている。水相をメタアクリルアミドゲルを用いた電気泳動法で分析してみると、4 画分のタンパク質が認められた。そのうちの一つは esterase で、別の一つは dehydrogenase であった。(ALDRICH et al., 1978)。羽化後 1 週間目の成虫では、hexanal (全体の 49.4%) と hexyl acetate (42.1%) がほぼ同量であるのに比べ、10 週間目では hexanal (87.8%) が増え、hexyl acetate (5.1%) が減る。このことから、hexyl acetate の加水分解に続く hexanol の酸化によって、hexanal が生成するということが分かる。GILBY and WATERHOUSE (1967) は、数種のカメムシの分析を試みた結果、アルデヒドと共に、相当するアルコールのアセテートが含まれるということを報告しており、Pentatomidae でも同様の機構が存在している可能性を示唆している。

では、アルデヒド類の果たしている機能は何であろうか。*Brochymena quadripustulata* (Pentatomidae) をアリ *Pogonomyrmex barbatus* のコロニーの近くに置くと、働きアリが攻撃をかけてくる。攻撃は通常、大顎で肢をつかむという形で行われるが、*Brochymena* はアリが攻撃してきた側に trans-2-hexenal を放出する。アリはただちに大顎を離し、異常な歩行をしたり、口器をぬぐったりする。*Solenopsis richteri* のコロニーの近くにカメムシを置くと、同時に 6 頭以上のアリが両側から攻撃をかけてくるが、そのようなときは、両側に hexenal の放出が起こる (BLUM, 1961)。分泌物の放出は、左右どちらかだけ、あるいは両側ともどちらの場合も可能であり、しかも相当の角度で放出できる (REMOLD, 1962, 1963)。カメムシの分泌物放出方式としては、このように攻撃者に向かって分泌物を吹き付ける場合 (sprayer) と、体表に拡散させる (exuder) 場合とがある。前者の場合、分泌物は特定の方向に発射され、toxin として作用する。後者の場合、分泌口からにじみ出てきた液を後脚などを

使って体表へ塗り広げる行動がみられ, repellent として作用していると考えられる。いずれの場合でも, カメムシの分泌物の機能の一つは防御であると言える。

若虫では, 分泌腺は腹部背面に開口しているが, 成虫では, 胸部腹面に分泌腺が開口するようになる。これは翅の発達と関係があると思われる。 *Oncopeltus fasciatus* の若虫では, 腹部背面 III—IV 節間と, IV—V 節間に分泌腺が開口している。前方の腺からの分泌物は単一相で octenal が主成分であり, 後方の腺からの分泌物は二相になり, 主成分は 4-oxo-2-hexenal であった (GAMES and STADDON, 1973)。このカメムシは通常, まず後方の腺から放出し, 更に必要なら前方の腺からも放出する。このことは, 二つの腺からの分泌物の果たしている役割に違いがあるのではないかということを示唆している。 *Dysdercus intermedius* の若虫では, 腹部背面 III—IV 節間, IV—V 節間, 及び V—VI 節間に分泌腺があり, 前方の二つは形態的に似ており, 3 番目の腺とは異なっている (YOUDEOWEI and CALAM, 1969)。後方の腺の主成分が hexenal であるのに対し, 前方の二つの腺の主成分は tetradecane であり, hexenal は含まれていない。このことから, 前の二つの腺は集合に, 後の一つは防御に関与していると考えられた。2-hexenal, 2-butenal, 2-butanone に対し, *Dysdercus* は大変興奮してあちらこちら歩き回り, 時々止まってアンテナや口吻や肢を身繕いするのが観察された。dodecane, tridecane, pentadecane は何の行動も引き起こさなかったが, hexanal, 2-hexenal は幼虫を分散させた (CALAM and YOUDEOWEI, 1968)。このことから, 警報フェロモンとしても作用していることが考えられる。

警報フェロモンは, 近くに同種の他個体が存在しているこそ有効に警報の役目を果たす。したがって, 警報フェロモンを対捕食者戦略の一環に組み込んだ種は, 多かれ少なかれ集合性を発達させていると考えることができる。集合と分散という相対立した行動の統一が, これらの種の繁栄と, 絶滅を防ぐために作用している (伊藤, 1973)。捕食者に対する防御手段として使われた化学物質 (allomone) が, 集合性の発達とリンクして同種の他個体に対する警報手段 (pheromone) という機能を果たすようになったと考えることができる。この点は, 社会性昆虫であるアリの仲間の多くで報告されている防御—警報系の発達をみればうなずける (REGNIER and WILSON, 1968, 1969; WILSON and REGNIER, 1971)。

FUJISAKI (1975) は, ホオズキカメムシ *Acanthocoris sordidus* の生活史における集合と分散に関する一連の研究の中で, 一令若虫の集合性にも言及している。ホオズ

キカメムシ 1 令若虫は, 頭を外側に向けて円形に集合しているが, その中の一頭がナミテントウ 4 令幼虫に攻撃されると, 他個体は歩行や落下で分散して逃避するのみならず, 1 時間ほどで他の場所に再び集団を形成した。この行動は, 1 令若虫集団がクモに襲われたときにも観察され, 襲われた 1 匹以外は四方に散らばってしまった (藤崎, 1972)。ISHIWATARI (1974) も, ナガメ *Eurydema rugosa*, ヒメナガメ *E. pulchra* の若虫は, 分泌物によって葉上から落下するなどの行動をとることを調べ, この行動は分泌物の主成分である 2-hexenal によっても引き起こされることを報告している。

III カメムシの集合

カメムシ科の大部分の種では, 雌の卵巣は 6~7 対の卵巣小管からなり, 1 卵巣小管当たり 1~数個が卵成熟すれば産下されるため, 卵塊で産卵される。卵塊からふ化した若虫は卵殻上に集合してとどまるが, 2 令からは摂食を開始し, 卵殻を離れる。卵塊産卵型のカメムシでは, 摂食開始期の 2 令まで集合しているという現象は普通にみられる。ナガメ (12~14 卵/1 卵塊の小卵塊型) では, 3, 4 令期まで有意な集中分布を示し, 4, 5 令期でもなお 3~5 頭の集団が観察された (桐谷, 1970)。ISHIWATARI (1976) は, ナガメの 1 令若虫を用い, trans-2-hexenal が一度に大量に放出された場合には, 上述のように集団内個体の分散を促すが, 少量がゆっくりと放出された場合は“arrestant”として作用し, 集団の形成に重要な役割を果たすことを明らかにした。

Musgraevia sulciiventris (Pentatomidae) が 20 頭以上の集団を作って吸汁しているのを果樹園内で観察するのは, さほど珍しいことではない (MACLEOD, et al., 1975) という報告があるように, カメムシによる加害の一つの原因として集団吸汁が挙げられる。 *Dysdercus intermedius* はワタの重要害虫の一つで, 吸汁集団を形成する。 *Dysdercus* の 5 令若虫の腹部背面に開口する腺が, 集合に関与しているのではないかと (CALAM and SCOTT, 1969) という報告については既に述べたが, 吸汁時の集団形成には, 別の要因が関与しているらしい。

ガラス容器の底に敷いたろ紙の上に, 等間隔に 10 個のワタの種子をはり付け, 4 令あるいは 5 令の *Dysdercus* を放す。いずれの場合も, 特定の種子に集中して吸汁するのが観察された。そこで, 次にあらかじめ針で穴を開けておいた種子 5 個と, 穴を開けない種子 5 個とを同時に呈示したところ, 5 令若虫は, すべてあらかじめ穴を開けた種子のほうに集中した。眼を見えなくした若虫は, すぐ近くの傷のついた種子のところへ移動し, その種子

を吸汁したが、特定の種子に集中することはなかった。

以上の事実から、吸汁集団の形成には、1頭の若虫が吸汁することによって傷ついた植物体から出るニオイが重要な役目を果たしており、更に視覚も関与しているということが分かった (YOUDEOWEI, 1966)。

Oncopeltus fasciatus は、亜社会性 (subsocial) 昆虫であると言われており、若虫と羽化直後の成虫は集合していることが知られている。成虫脱皮後約8日を経過してクチクラが固くなり、赤と黒の色彩がはっきりしてくるころになると、成虫は集合しなくなり飛しょうが開始される。この若虫と羽化直後の成虫から成る集団の形成維持には、フェロモンが関与している (ALLER and CALDWELL, 1979)。 *O. fasciatus* 若虫のアセトン抽出物に対し、若虫と若い成虫は有意に誘引され、若い成虫の抽出物に対しても、若虫、若い成虫ともに誘引された。8日以上たった成虫の抽出物を若虫は避けた。 *O. fasciatus* は、既に述べたように、cardenolide を体内に蓄積しており、“不味である”ことを赤と黒の体色で標識化することによって、被捕食の機会を減じている。このような警戒色による防御は、ミューラー擬態の多くの例が示すように、その地域内の不味な個体数が多いほど有効に作用する。多くのカメムシが摂食時に分解酵素を植物体中に分泌するが、それによって植物体に生理的变化が起こり、カメムシの吸汁に有利に働くと考えられ、これらの点が、 *O. fasciatus* の集合の持つ適応的意義であると考えられている (ALLER and CALDWELL, 1979)。

カメムシの集合には、① ふ化直後から摂食開始時期前後まで卵塊上で起こる若令若虫の集合、② 摂食時に起こる若虫、成虫の集合、③ *Oncopeltus* でみられたような若虫や若い成虫の混在する subsocial な集合、④ ホオズキカメムシ、マルカメムシ、ツマキヘリカメムシなどの成虫にみられるような交尾期の集合、⑤ クサギカメムシやスコットカメムシにおけるような越冬時の集合など、さまざまなタイプの集合がみられ、それぞれに異なる要因が作用しており、異なる適応的意義があると思われる。

藤崎 (1977) は、ヒメツノカメムシ *Elamucha putoni* の若虫が互いに触角で触れ合いながら移動するという立川の観察を確認し、この虫の若虫集団をピンセットで妨害した際にも同様に、集団を維持しながら移動していくことを報告している。ホオズキカメムシでは、落下、歩行などで集団が分散した後、別のところで再度集団が形成される (FUJISAKI, 1975)。

このように集合という現象と、分散、移動という現象は相対立する現象でありながら密接に関連しあっている。アメリカシロヒトリの実験で示されたように (WA-

TANABE and UMEYA, 1968)、それらが昆虫の行動様式の中でどのように統一されているかという観点から、カメムシの集合についても検討を加えていく必要があると思う。

IV カメムシの性フェロモン

カメムシの性フェロモンに関する研究は、防御物質の研究に比べるとほとんど進んでいない。その原因の一つとして、防御物質のような allomone は、敵に攻撃されたとき一度に多量に放出されなければならない、したがって分泌腺も貯蔵嚢も大きいのに対し、少量ずつ長期間放出されるフェロモンの場合、分泌腺は非常に小さいか、その存在が目立たないということが考えられる (ALDRICH et al., 1978)。

GUPTA (1961) は、実験的裏付けはないがと断ったうえで、カメムシの若虫における分泌腺の機能は一義的に防御であるが、成虫の分泌腺の機能は、同時に防御の機能も持ってはいるが、一義的には性行動にあると述べている。この仮説を裏付けるように、性的二形を示す腺の存在が、幾つかのカメムシで発見されている。

捕食性 Pentatomidae カメムシ *Podisus maculiventris* (Asopinae) の腹部背面 III—IV 節間に開口する腺は、雄だけによく発達しており、その内容物は 2-hexenal (43%)、 α -terpineol (47%)、benzyl alcohol (9%)、cis-piperitol (1% 以下)、linalool (1% 以下)、terpinen-4-ol (1% 以下) で、雄1頭当たり約 500 μ g 分泌される。これを雌と比べると、 $10^2 \sim 10^3$ 倍多い量である。*Dysdercus* 成虫でモノテルペン炭化水素の存在が報告されている (CALAM and SCOTT, 1969) 以外には、カメムシではテルペン類は発見されていない。これらの分泌腺の機能は分かっていないが、分散して生活している捕食性カメムシが生殖時に雌を誘引し、しかも、雌の捕食本能を抑えるという目的に用いられるのではないかと推測できる (ALDRICH et al., 1978)。

Oncopeltus fasciatus の成虫の胸部分泌腺は、中央の貯蔵嚢と、左右一対の管状腺及びその貯蔵嚢とからなる。中央貯蔵嚢の成分として、hexenal, hexadienal, octenal, octadienal といったアルデヒド類が同定され、その含量は雄雌ともにほぼ同じであった。一方、管状腺の成分としては、hexenyl-, hexadienyl-, octenyl-, octadienyl-acetate といったエステル類が同定され、雄ではこれらのエステル類が 98% を占めるのに対し、雌では1% 以下しか含まれていない。この場合は、成分に性的二形があると言える (GAMES and STADDON, 1973)。アセテート類は多くの鱗翅目昆虫の性フェロモンとして

知られ、水生半翅目のタガメの一種 *Lethocerus indicus* の性フェロモンとしても 2-hexenyl acetate が同定されており (BUTENANDT and TAM, 1957)、アセテート類は単にアルデヒドの前駆体としてだけでなく、独自の役割を持っていることが推測される。

Lygus linearis の虫体抽出物中の揮発性成分の分析が行われ、15種の成分が確認された。そのうち hexenyl butyrate と hexyl butyrate だけで全体の 60~80% を占めており、その比率は雄で 1:10、雌では 1:1 であった。一方、若虫にはこの2成分が含まれないという事実から考えて、生殖行動に関係があるのではないかとの推測がされるが、実験的証明はなされていない (GUELDERNER and PARROTT, 1978)。

Leptoglossus phyllopus の性的に成熟した雄では、腹部 VII—VIII 節に分泌腺が発達している。求愛行動または交尾の観察されなかった雄では、この腺はほとんどあるいは全く発達していなかった。成分は benzyl alcohol, syringaldehyde, guaiacol, acetosyringone, methyl p-hydroxybenzoate が主で、ほかに vanillin が含まれていた。性的成熟度の発達と関連した雄特有の分泌腺ではあるが、この腺を除去しても雄は交尾を行ったことから、近距離ではあまり重要な役割を果たしていないのではないかと考えられる (ALDRICH et al., 1976)。

ミナミアオカメムシの雌 20 頭を金網ケージに入れ、Y字型オルファクトメーターの一方に置き、雄 10 頭を風下から放しても雄は何の反応も示さないが、その逆の実験では、金網ケージに入れた雄に対し、雌 10 頭のうち 6 頭が 20 分以内に誘引された。野外に設置した網室での放飼実験でも、63 頭中 35 頭の雌が金網に入れた雄に誘引された。更には、寄生バエまでが、このニオイを利用している。マカダミアを植えた園に雄の入った金網ケージをつつたところ、ある実験では、雄 10 頭、雌 72 頭の寄生バエ (Tachinidae) が誘引され、別のときには、寄生バエ (雄 4、雌 38) とカメムシ (雄 1、雌 4) がトラップに入った (MITCHELL and MAU, 1971)。以上の実験から、ミナミアオカメムシの場合にも、雄が雌を誘引していることが明らかとなった。

以上の例は、すべて、雄が性フェロモンを分泌する可能性を示すものばかりであった。その理由の一つとして、ホオズキカメムシやマルカメムシのように交尾期に食草上で集団を形成する以外の、普段は多かれ少なかれ分散していたり、食草間を移動しているカメムシでは、雄がまず食草上でコロニーを作り、雌を誘引するのではないかと考えられる。その逆に雌が雄を誘引する場合、雌は食草と卵を受精させる相手を同時に探さねばならな

いということになるからである (ALDRICH et al., 1976)。

この考えがどれほど妥当であるかは分からないが、カメムシの生殖を考える場合、定着性のカメムシ以外では、同時に食草間の移動、食草に対する選好性、雌の行動範囲、休眠の有無といったいろいろな要素を考えなくてはならず、問題はかなり複雑ではないかと思われる (DINGLE, 1978)。

おわりに

1960年代前半の報告では、虫体を水蒸気蒸留し、留出液を酸性、中性、アルカリ性画分に分け、“ニオイ”のする中性部を 2,4-DNP でヒドラゾンに誘導し、薄層クロマトグラフィー、ペーパークロマトグラフィーで R_f 値を標準品と比較するという方法が多くみられる。カメムシをピンセットなどでつまんだときに分泌物が放出されるということから、機能は一義的に防御と考えられ、ほぼ純粋な形で放出される分泌物の主成分を同定するという面に関心が向けられた。その後、ガスクロマトグラフィーやガスクロ直結質量分析計などが用いられるようになると、分泌物をガラスキャピラリーで集め、そのまま分析するという方法が一般的になり、hexanal や hexenal 以外の、従来微量成分とされていたものまで、構造が決定されるようになってきた。こうして分泌物中に含まれる化合物の構造が相当詳しく明らかにされると、それらの果たしている役割が問題となってくる。幾つかのカメムシで、防御—警報、警報—集合、生殖などに関与している可能性が示唆されている。北村ら (1979) は、空中に放出されたカメムシのニオイを Chromosorb 105 に吸着させた後分析する方法を、数種のカメムシで検討したところ、分泌物の溶媒抽出物中の主成分が、空気中にも一番多く揮散しているのではないということを示唆した。このことは、主成分を追いかけるという従来の方法論では、必ずしも分泌物の機能を明らかにすることにはならないということを示唆している。

カメムシの分泌物は、allomone, pheromone, toxin, repellent, arrestant と、いろいろの呼び名で呼ばれるさまざまな機能を同時に果たしている可能性が示された。

野外での、あるいは実験室での観察に基づいた、行動学的、生態学的研究とに正しくリンクされると、今後カメムシの生活において分泌物の果たしている機能が、更に明らかにされ、そのことがカメムシのマネージメントへの展望を与えてくれることにもつながると思う。

引用文献

紙面の関係上、引用文献は省略した。必要な方は、直接筆者まで、問い合わせたい。

性フェロモン・トラップによる害虫の発生予察

農林水産省農業技術研究所 ^{なか}中 ^{むら}村 ^{かず}和 ^お雄

I フェロモン・トラップによるサンプリング

性フェロモンを誘引源とするトラップを用いた害虫個体群のモニタリングと、それを基にした発生予察は、フェロモンの強い誘引性や、設置の手軽さなどから、多くの害虫で用いられ、幾多の成果を挙げている。しかし、フェロモン・トラップには、幾つもの特質があり、これを用いたモニタリングや発生予察にも、様々の制限や条件が伴う。このため、これらの特質を十分に知ったうえで、フェロモン・トラップを用いることが必要であろう。

まず考えたいことは、害虫個体群のモニターとしてのフェロモン・トラップは誘蛾燈や、すくい取りの際の捕虫網と全く同じく、サンプリングのための道具であるということである。サンプリングの際常に問題になるのは、誤差とカタヨリがどのくらいあるかである。このうち、誤差は標本をサンプルするたびに生じるずれで、たくさんのサンプルをとっていけば、平均値0のまわりに分布する正規曲線を成す。それに対して、カタヨリは、例えば、サンプリングに用いた道具が一定以上の大きさの昆虫しか捕らえない場合のように、個体群からの一定方向へのずれを示すものであり、いくら多くのサンプリングを繰り返しても、0にすることはできない。

フェロモン・トラップで得た標本にも、常にこの誤差とカタヨリが伴うわけで、特に後者が際立って大きい。言うまでもなく、性フェロモンは成虫の片方の性（通常は雄）だけを誘引するものだから、フェロモン・トラップによるサンプリングは、害虫個体群のうち雄成虫のみを、それもフェロモンに反応を示すエイジに達したもののみをサンプルするという極端なカタヨリを持っている。

また誤差についても、場所や日によって誘殺数に大きな変動があるほか、トラップと雌成虫の競合のために、雌成虫密度に伴って誘殺効率に変動が生じる。しかし、これらの誤差には、例えば風速との関数として記載できるとか、雌密度が分かれば推定できるとかいう部分も含まれよう。したがって、誘殺数の変動とそれをもたらしている要因の解明が一つの重要な研究課題となる。

ここで、通常のサンプリングの場合と同様に、誤差を小さくするためには、多くのトラップを配置することが

必要となる。その際、必要な精度を得るためには、幾つトラップを配置したら良いかが問題となろう。これは重要な問題であるが、ここでは紙面の関係上、以下の点について触れるにとどめる。一般にサンプリング回数を増やせば誤差は小さくなるが、トラップの場合は必ずしもそう言えない現象が生じる。特に、比較的狭い範囲にたくさんのトラップを配置すると、“トラップ間で雄を奪い合う”結果、トラップ当たりの誘殺数はトラップの数によって変わってしまう。更に、トラップの有効範囲が重なるために、その範囲に入った雄は複雑な行動をとることになる。その結果、位置によって捕獲数の多少が生じ(NAKAMURA, 1976b)、トラップ数を増すことによってトラップ間の変動はむしろ拡大されてしまう。

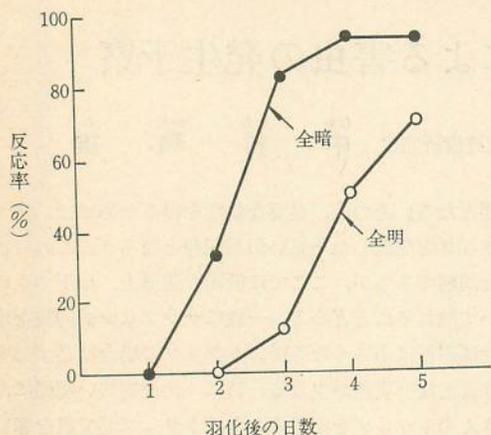
一方、フェロモン・トラップによるモニタリングや発生予察といっても、その要求される精度は場合によって必ずしも一定ではない。例えば、年々の発生消長や相対的な発生数の大小を見たり、発生時期の予察を行うなど必ずしも絶対的な密度の推定を必要としない場合には、トラップの誘殺効率（サンプリング効率）の変動は、それほど問題にならないかもしれない。これに反して、誘殺数を基にして次世代以降の個体群密度や被害量を推定しようとする場合には、相当高い精度を必要とするであろう。トラップを利用する目的によって要求される精度から、トラップに伴う誤差とカタヨリも考えることが必要であろう。

II 誘殺数に関係する要因

1 雄成虫の性的活性度

性フェロモン・トラップは、言うまでもなく性フェロモンに対する雄成虫の誘引性を利用したものであるから、雄成虫のフェロモンに対する反応性の違いが誘殺数の変動をもたらす一つの要因となる。もちろん、処女雌をトラップの誘引源として用いる場合には、雌の性的活性度の違いも変動の大きな要因となるが、ここでは合成性フェロモンを誘引源に用いる場合のみについて考える。

まず考えられることは、雄成虫の羽化後の日数によってフェロモンへの反応性に違いがあることである。第1図は、ハスモンヨトウの羽化後の日数とフェロモン抽出物への反応率の関係を示している(玉木ら, 1973)。全暗下では、羽化後1日目(羽化当日)には全く反応しない



第1図 ハスモンヨトウ雄成虫の羽化後の日数*と全明下と全暗下におけるフェロモン抽出物に対する反応率(雄腹部末端の把握器を開閉させた個体の割合)
(* 羽化後は全明条件下におかれている)(玉木ら, 1973).

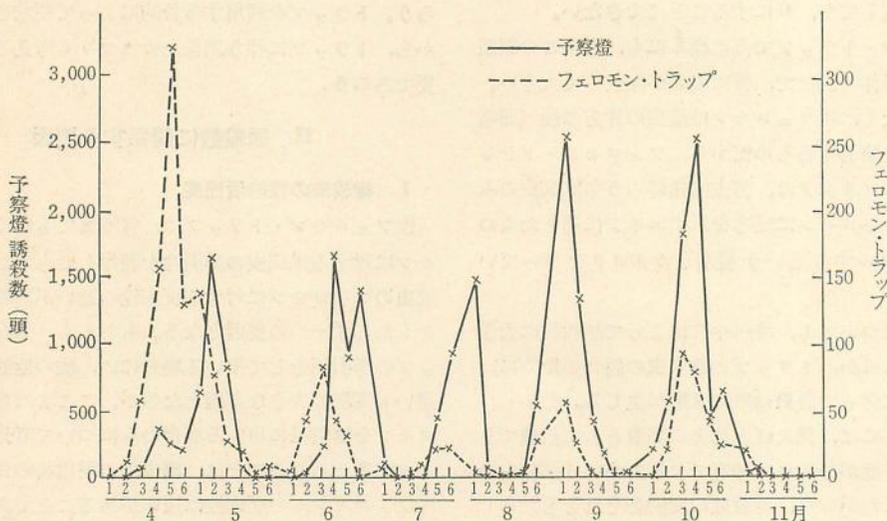
が、3日目では80%以上の個体が反応している。こういった現象は、どんな昆虫でも程度の差はあれ一般に見られるものである。しかし、ハスモンヨトウのように、羽化後数日を経過すればほとんどの個体が反応を示す場合には、フェロモン・トラップによるサンプルはそれだけのカタヨリを持つものの、実用的にはほとんど問題にならないであろう。しかし、成虫の寿命がもっと長い種では、羽化後の日数の経過に伴う成熟度の違い

が、より重要な影響をもたらす。特に成虫が移動する種においては(長距離移動に限らず、越冬地と生育地間の移動、あるいは、いわゆる分散の場合でも)、移動終了後に生殖が開始されることが一般的であるから、フェロモンに対する反応も大きく遅れることが考えられる。現在までのところこういった観点からなされた研究は少なく、今後の一つの課題である。

次に、季節や世代の違いによって雄の性的活性度(あるいは、フェロモン感受性)に違いが見られる場合がある。例えば、チャノコカクモンハマキではフェロモン・トラップと誘蛾灯で得た年間の誘殺数に年間5回の発生が明瞭に認められるが、両者の誘殺の変動のパターンは大きく違っている(吉川・藤川, 1975)。これら二つの誘殺数のうち、誘蛾灯のほうが実際の生息密度の変動に近いと見られ、フェロモン・トラップでは夏期には誘殺効率が落ちるということになる。この原因は今のところ明らかでないが、雄のフェロモンに対する反応の強さが弱まることも考えられる。いずれにしてもこの場合には、トラップの誘殺効率が年間を通じて一定ではないわけで、そのため各世代の誘殺数の違いがそのまま生息密度の違いを表していない。したがって、誘殺効率を推定しない限り、世代間の誘殺数の比較は無意味となる。このような例は、ほかの幾つかの昆虫でも示唆されており、注意すべき要因の一つである。

2 フェロモンの拡散

フェロモン源から放出されたフェロモンがどのように



第2図 チャノコカクモンハマキの子察燈とフェロモン・トラップ*での誘殺数の消長(1974年, 熊本茶試; 吉川・藤川, 1975).
(* ここで用いられたフェロモンは主成分だけのものである)

拡散し、それにはどんな要因が関与しているかを明らかにすることは、いわゆるトラップの有効範囲を考えるうえで、また誘引効率を考えるうえでも重要なことである。

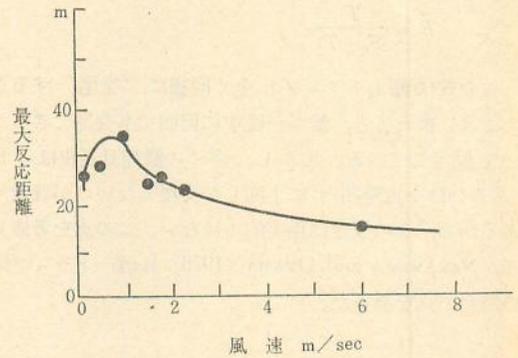
フェロモン源から空気中に放出されたフェロモンは、空気を担体として運ばれていく。このときフェロモンの広がり方は、ちょうど煙突から出て風にたなびく煙のように、風下側に向かって組長い廊下のような形をつくる。このにおいの流れを普通ブルームと言っている。

さて、フェロモン・トラップの誘殺数を考えるとき、フェロモンはどこまで広がっていき、雄はそれをどのくらいの範囲から知覚することができるのかが問題になる。この範囲の中に雄が入ると、雄はフェロモン源の方向に向かう行動が促進され、雌あるいはトラップに誘引されるから、この範囲をフェロモンの有効範囲と定義することができる。

フェロモンの拡散の問題は、BOSSERT and WILSON (1963) により、初めて理論的に扱われた*。彼らは、フェロモン源から一定の速度で連続的にフェロモンが放出される場合を仮定し、SUTTON の拡散式を適用した。今、一定の濃度以上になったときに雄がフェロモンを感じるという域値が存在するとすると、この域値以上の濃度を持った3次元空間が求められる。これが先に定義した有効範囲である。(実は、SUTTON 式は比較的長い時間にわたって平均化された濃度を表すもので、この式から求められた有効範囲も平均化されたものである。実際の空気の流れには、乱流やうずが生じていて、SUTTON 式とは違った振る舞いをする。これらについて、AYLOR (1976), AYLOR et al. (1976) が詳細に論じている。)

この有効範囲は風下側に細く伸びており、SUTTON 式から導かれるところに従うと、フェロモン源からの蒸散量が多いほど、風速が弱いほど、また、雄がフェロモンを感知する域値が低いほど、有効範囲の大きさは大きくなる。これらの要因のうち、フェロモンの蒸散量はフェロモン剤を使用し始めてからの経過日数、気温、湿度、風速などによって変わることが考えられるが、これらについて研究された例は必ずしも多くない。

風速と有効範囲との関係については、ハスモンヨトウの例がある (NAKAMURA, 1976 a, 第3図)。風速が1 m 以上になると最大反応距離は減少しており、これは先に述べた SUTTON 式からの予想と一致する。しかし、風速が1 m 以下のときに最大距離は減少しており、これは SUTTON 式からは導かれないことである。NAKAMURA



第3図 ハスモンヨトウ雄成虫の性フェロモンに対する最大反応距離とそのときの風速 (NAKAMURA, 1976 a)

(1976 a) と NAKAMURA and KAWASAKI (1977) は、これはフェロモンの“沈着効果”によるものと考えた。

一方、LEWIS and MACAULAY (1976) は、ノコメハマキガの1種 pea moth の誘引に対して、どういうタイプのトラップが最も誘殺効率が高いかを見ようとして、トラップの中で発煙剤をたいて、そのときできるブルームの形を観察した。その結果、概してははっきりしたブルームが形成されて、風下側へ長く伸びるタイプのトラップに誘殺数が多かったが、同じトラップでも風が弱く、ブルームがぼんやりと広がってしまったときには誘殺数が少なかった。この極端な場合が、トラップをマメの株内に入れたときで、煙は幅広く広がってしまってブルームを形成しなかった。

これら二つの結果は、風速が有効範囲の大きさばかりでなく、ブルームの形にも大きく影響することを如実に示しており、その結果、誘殺数が風速に大きく依存することを示唆している。

3 トラップと雌との競合

フェロモン・トラップが成虫の配偶行動時における交信を利用しているために、雄成虫をめぐってトラップと野外に生息する雌との間で奪い合いが演じられる。この現象をトラップと雌との競合といえることができる。

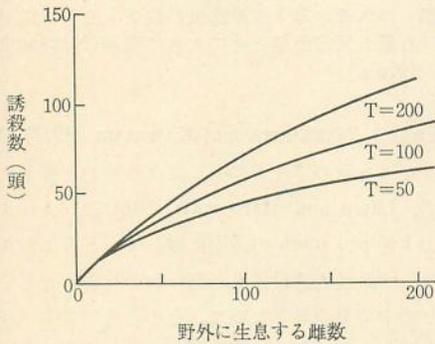
今、処女雌が放出するフェロモンの誘引力が雌の数に単純に比例すると考えると、トラップの個数が一定の場合、雌の密度が低いときには雄はより多くトラップに誘引され、雌の密度が高くなると雄は逆に雌個体群に多く誘引されるであろう。言い換えると、トラップの誘殺率は、雌の密度によって変化する。

KNIPLING and MCGUIRE (1966) は、この関係を次のように表した。今、雌成虫の数を F_0 匹、トラップ数 (単位は雌当量) を T 個とすると、トラップ効率 E は、

* 詳細は、中村 (1976), 玉木・中村 (1976) を参照のこと。

$$E = \frac{T}{F_0 + T}$$

この式は雌もトラップと全く同様に“交尾”すること、言い換えると、雌が一晩中に何回でも交尾できることを仮定している。しかし、多くの鱗翅目昆虫は1日(あるいは一定時間内)に1回しか交尾しないのが普通であるから、この仮定は現実的ではない。この点を考慮して、NAKAMURA and OYAMA (1978) は雌—トラップ間の競合の式を導いた。



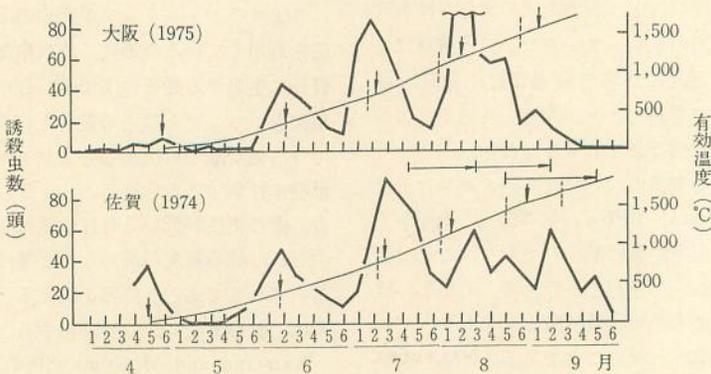
第4図 成虫の移入・移出がない個体群にフェロモン・トラップを設置したとき、そこに生息する雌数と誘殺数との関係。
 トラップ数 (T) は、1雌当量の誘引源を付したトラップを1個とする。

第4図は、この式を解いて得られた結果で、性比 1:1 の野外個体群に対して 50, 100, 200 個のトラップ (1個のトラップの誘引源は1雌当量) を設置したとき、トラップでの誘殺数を当初生息していた雌数に対してプロットしたものである。明らかに雌の数が增加するほどト

ラップの誘殺効率は減少する。この傾向は、トラップ数(あるいはトラップの誘引力)が少ないほど強い。したがって、こういった場合にはフェロモン・トラップでの誘殺数から直ちに野外に生息する成虫数を推定することはできない。

雌—トラップ間の競合の結果もたらされるもう一つの問題は、トラップでの誘殺のピークが産卵曲線のピークよりずれることである。例えば、アワノメイガでは、は場で見られた卵塊数のピークとライト・トラップでの交尾ずみの雌の誘殺数のピークはほぼ一致するが、フェロモン・トラップでの誘殺数のピークは大きく後にずれている (OLOUMI-SADEGHI et al., 1975)。こういった例は、我が国のハスモンヨトウ (堀切・上和田, 1976; 宮原ら, 1977) でも知られている。

この誘殺ピークのずれには幾つかの要因が関与しているものと思われるが、その一つに雌—トラップ間の競合が考えられる (中村, 1979)。すなわち、羽化した雌雌はまず互いに交尾し合うが、もともと雌雌間で一生の間に可能な交尾回数に差があるか、あるいは雌が産卵を開始すると、やがて、交尾可能な雌数は減少しよう。一方、雄が依然交尾能力を持っていると、あとになるほどトラップにより誘引されると考えられるからである。そこで、雌—トラップ間の競合を計算機を用いてシミュレートした結果、交尾可能な雄成虫が雌成虫に比べてより多く残存しているほど、ずれが大きくなることが示された。そのため、トラップの誘引力が野外に生息する雌全体の誘引力に比べて小さなき、雄の生存率が高いとき、成虫の羽化時期に雌雌間に差があつて雌が雄よりも早く羽化してくるとき、このずれが大きくなる (中村, 1979)。こういった場合には、誘殺曲線のピークを見て、産卵時期やふ化時期の予測をすることはできない。



第5図 ナシメシシクイのフェロモン・トラップでの誘殺消長と各世代を経過するのに必要な有効温度 (下向きの矢印) (田中・矢吹, 1978)。

III フェロモン・トラップによる発生予察

1 発生時期の予察

成虫の羽化時期や産卵時期、あるいは卵のふ化時期をトラップで得られた誘殺曲線を基にして予測することは、いろいろな害虫で広く行われ、年間の発生回数を知ったり、薬剤の散布時期を決めるのに実際に使われている。第5図はそういった例の一つで、ナジメシンクイの発生回数が、トラップでの誘殺曲線によって見事に示されている(田中・矢吹, 1978)。ここで、図中に下向きの矢印で示されているように、誘殺のピーク時から一世代の発育に要する有効温量を積算していくと、ちょうど誘殺曲線の各ピークに合っており、誘殺曲線の消長が発生の消長をそのまま反映しているとみることができる。このような場合には、フェロモン・トラップが発生時期を予測するのに有力な手段となりうる。

しかし、既に見たように、雌一トラップ間の競合のために誘殺曲線のピークのほうが産卵曲線のピークよりあとにずれる場合には、そのままではトラップを発生時期の予測手段として用いることはできない。ハスモンヨトウはこの例であるが、深町(1979)によると春(4~5月)の誘殺数のピーク時を起点として、卵から成虫までの発育に要する有効温量を積算していくと、各世代の産卵時期を良く推定することができるという。

このように、発生時期の予測には誘殺時期に発育の有効温量を組み合わせて、実用上十分な予測を行っている場合が多く、発育の有効温量を求めることが、多くの場合必要な条件であるといえよう。

2 発生量の予察

雌一トラップ間の競合の項で見たように、誘殺数から直接野外の密度を推定することは非常に難しい。しかし、隔離されたは場で外からの移入が無視できる場合で、成虫の性比が分かっているならば、第4図の関係をを用いて誘殺数から生息成虫数を求めることが理論的には可能である。

一方、より広い地域の発生の状況を知るのに、フェロモン・トラップが有効である場合もある。杉野(1976)はハスモンヨトウで、静岡県内各地に配置したフェロモン・トラップでの5~6月の誘殺数と8月の誘殺数との間に高い相関関係を得ている($r=0.997, P<0.001$)。この関係を用いれば、従来の誘蛾燈では誘殺されなかった5~6月の段階で、8月の誘殺数を推定できるわけである。

これを更に進めて被害の予測を試みたのが、NAKASUJI and KIRITANI (1978) である。彼らは、まず、サ

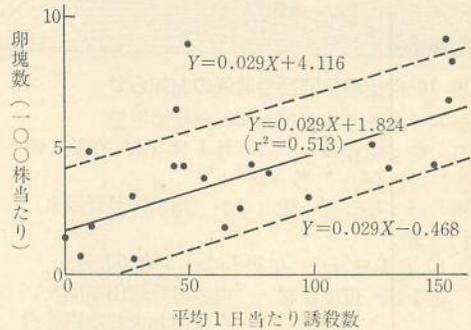
トイモ畑でハスモンヨトウの世代を追って産卵された卵塊数を数え、一方、この畑の近くにフェロモン・トラップを設置して誘殺数を数えた。このデータを用いて、雄の誘殺数と卵塊数との関係を検討した。誘殺数(X)は、卵塊数を数えた日から前にさかのぼった10日間の値を用い、これとサトイモ100株当たりの卵塊数(Y)との間の関係をみたところ、XとYとの間に

$$Y=0.029X+1.824$$

という直線関係が認められた(第6図)。次に、この回帰式の子測値の95%信頼区間が求められた。

彼らは、更に、この予測式と生命表に基づく野外個体群の変動モデルを組み合わせて、トラップの誘殺数で表した要防除密度を求めた(表)。この表の平均とは、上の予測式に基づいた誘殺数であり、上限、下限とは95%信頼区間の上限、下限に対応する。したがって、この表の下限に示された値以下の誘殺数しか得られなかったときには、薬剤散布をしなくても被害が生じることは、100回のうち5回以下であると予想できる。

これは、被害予測まで考えた数少ない例の一つである。この予測の基になっているのは、ハスモンヨトウの個体群動態の研究と被害量の発現に関するものであ



第6図 ハスモンヨトウの誘殺数とサトイモ畑における卵塊数との関係。

実線は両者間の回帰直線を、点線は予測の95%信頼区間を示す。

(NAKASUJI and KIRITANI, 1978).

第6図の回帰直線を基にして求められたハスモンヨトウの要防除密度 (NAKASUJI and KIRITANI, 1978)

	要防除密度(誘殺数)			
	7月上旬の 1日当たり	半 旬 総 数	8月上旬の 1日当たり	半 旬 総 数
上 限	192	960	163	815
平 均	286	1,430	242	1,210
下 限	376	1,895	321	1,605

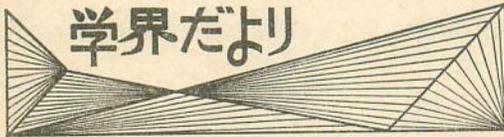
て、フェロモン・トラップは産卵数を推定するためのモニターとして使われているのである。この例は、我々がフェロモン・トラップを発生子察に使おうとするとき、なすべき基本的な研究が何かという点で参考になることが多い。

おわりに

以上、見てきたように、フェロモン・トラップによる子察といっても、その対象とするものは多岐にわたるし、それによって要求される精度も様々である。一方、トラップの特質に基づく誘殺数の変動も意外に大きい。そこで、対象とする害虫の生理・生態学的特質、特に配偶行動に関する習性を良く見極めることが必要となる。そして、予測しようとしている害虫個体群の状態をトラップ以外の何らかの手段でとらえ、トラップで得られた情報との間の関係を明らかにすることが大切である。そのために、場所や年次を異にしたデータの積み重ねが必要であろう。こういった基礎的な研究のうえに立って、より精度の高い予測が可能とならう。

主な引用文献

- AYLOR, D. E. (1976) : J. F. ANDERSON and H. K. KAYA (ed.) Perspectives in Forest Entomology, Academic Press, pp. 177~188.
 ——— and J.-V. PARLANGE (1976) : Environ. Entomol. 5 : 1026~1032.
 LEWIS, T. and E. D. M. MACAULAY (1976) : Ecol. Entomol. 1 : 175~187.
 中村和雄 (1976) 植物防疫 30 : 417~420.
 NAKAMURA, K. (1976 a) : Appl. Ent. Zool. 11 : 312~319.
 中村和雄 (1979) : 昭和 54 年度応動昆虫大会講演.
 NAKAMURA, K. and M. OYAMA (1978) : Appl. Ent. Zool. 13 : 176~184.
 NAKASUJI, F. and K. KIRITANI (1978) : Protect. Ecol. 1 : 23~32.
 杉野多万司 (1976) : 昭和 50 年度フェロモン利用に関する試験成績. 日本植物防疫協会.
 玉木佳男・中村和雄 (1976) : 農業技術 31 : 417~420.
 ———ら (1973) : 防虫科学 38 : 147~150.
 田中福三郎・矢吹 正 (1978) : 応動昆虫 22 : 162~168.
 吉川 護・藤川 博 (1975) : 昭和 49 年度フェロモン利用に関する試験成績. 日本植物防疫協会.



○第 10 回土壤病談話会開催のお知らせ

- テーマ：土壤病害研究 80 年代の展望
 日 時：昭和 55 年 10 月 1 日 (水) 午後 1 時~3 日
 (金) 午後 3 時
 場 所：長野県小諸市ほか (宿泊は菱野温泉)
 行 事：
 10 月 1 日 (水) 午後 1 時~5 時 30 分
 第 1 部 現地検討 南牧村野辺山高原及び
 小諸市北大井農協管内
 (話題提供者) 関口昭良 (長野中信試), 小川 奎,
 小林紀彦, 百田洋二 (以上農事試), 萩原 廣 (野菜試)
 10 月 2 日 (木) 午前 9 時~12 時 30 分
 第 2 部 パネルディスカッション 「ハクサイ根
 こぶ病・黄化病の総合的防除」
 (パネリスト) 内記 隆 (岐阜大), 吉川宏昭 (野菜試),
 堀内誠三 (中国農試), 飯嶋 勉 (東京農試),
 山川邦夫 (野菜試), 広田耕作 (愛知園研)
 (司 会) 竹内昭士郎 (野菜試), 加藤喜重郎 (愛知園研)
 10 月 2 日 (木) 午後 1 時 30 分~5 時 30 分
 第 3 部 パネルディスカッション 「土壤伝染病
 の生態的防除手段としての輪作と有機物
 施用の意義」
 (パネリスト) 鈴木達彦 (広島大), 浜田竜之助
 (農工大), 高橋和彦 (野菜試), 大久保隆弘 (北

- 農試), 松田 明 (茨城農試)
 (司 会) 荒木隆男 (農技研), 駒田 且 (農事試)
 10 月 3 日 (金) 午前 9 時~午後 3 時
 第 4 部 シンポジウム 「土壤伝染病研究 80 年代
 の課題」
 (話題とその提供者)
 土壤伝染病研究の進歩この 20 年—糸状菌病を中心として
 渡辺文吉郎 (農事試)
 土壤伝染病研究の進歩この 20 年—細菌病を中心として
 津山博之 (岩手大)
 (以上 2 題の司会) 飯田 格 (千葉大)
 放線菌病研究 80 年代の課題
 木村貞夫 (長崎農総試)
 ビシウム病研究 80 年代の課題
 一谷多喜郎 (大阪府大)
 (以上 2 題の司会) 渡辺恒雄 (農技研)
 疫病研究 80 年代の課題
 宮田善雄 (京都府大)
 リゾクトニア病研究 80 年代の課題
 鬼木正臣 (農技研)
 (以上 2 題の司会) 鈴木孝仁 (静岡農試)
 総 合 討 論
 (司 会) 宇井格生 (北大)
 第 2 部~第 4 部の会場 小諸市農協会館 小諸市袋町
 (電話) 02672-2-0734
 参加希望者は下記事務局に申し込むこと。申し込み締め切は 8 月 10 日 (日)。
 第 10 回土壤伝染病談話会事務局
 〒365 鴻巣市大字鴻巣 1227 農事試験場病害第 2 研究室内 (電話) 0485-41-1231

性フェロモンによる害虫の直接防除

農林水産省四国農業試験場 わか むら まだ お
若 村 定 男

性フェロモン利用による害虫防除は、BUTENANDT¹⁾がカイコガの性フェロモンの化学構造を1959年に発表して以来、大きな期待を持たれてきた。害虫防除を目的とした性フェロモンの利用実験は、1961年にマイマイガの防除のために161haの小島にgyplureを航空機から散布したのが最初であるが、合成性フェロモンそのものが誤った構造であったため、完全な失敗に終わっている²⁾。

1966年、アメリカのBERGER³⁾は、農業害虫として初めてイラクサギンウワバの性フェロモンの同定に成功した。そして、1967年に、GASTON⁴⁾によって、空气中に漂わせた合成フェロモンによってイラクサギンウワバの雄が処女雌トラップに捕らえられなくなる現象、すなわち、性フェロモンによる交信かく乱現象が報告された。それ以来、10年余りの間に、100種以上の害虫の性フェロモンが同定され、性フェロモンによる害虫防除の研究が精力的に進められてきた。

我が国においても、1971年、玉木^{5,6)}によって、チャノコカクモンハマキとリンゴコカクモンハマキの複数成分系の性フェロモン、そして桑原⁷⁾によって、貯穀害虫のスジマダラメイガとノシメダラメイガの性フェロモンの化学構造が明らかにされ、相次いで報告された。それ以来、約10年間に性フェロモン利用の研究は、コカクモンハマキ、ナシヒメシンクイ、及びハスモンヨトウを中心に進められ、防除法としての可能性が示され、同時に、種々の問題点が明らかにされてきた。本文では、それらの問題点について述べたい。

I 性フェロモン利用による害虫防除の考え方

性フェロモンを利用して害虫を防除する方法としてまず考えられるのは、その強力な誘引活性に着目して、雄成虫を性フェロモントラップに誘引して殺し、雌成虫の交尾率を下げようとする大量誘殺法である。この方法は性誘引力が雌成虫に優るとも劣らない合成性フェロモントラップを多数設置して、大部分の雄成虫を捕殺しなければならない。なぜならば、通常、雌は1回の交尾でほとんど全ての卵を受精卵として産むことができ、雄成虫は、複数の雌と交尾することができるからである。

次に考えられるのは、性フェロモンをほ場に拡散させて雌雄間の交信をかく乱し、雌が雄と交尾するのを妨害

して、子孫の数を減らそうとするものであり、交信かく乱法と呼ばれる。雌雄間の交信をかく乱させる物質として、性フェロモンそのもののほかに、性フェロモン構成成分や性フェロモンの類縁化合物などが使用される。

3番目に考えられるのは、性フェロモンで誘引した雄に、何らかの処理をしてもとの個体群に戻してやる方法、いわば、他の防除手段との並用法がある。KNIPLINGとMcGUIRE⁸⁾は、性フェロモントラップで大量捕獲した雄を不妊化した後に、もとのほ場に放飼するという方法を提案している。また、SHAPAS⁹⁾はカツオブシムシの雄を性フェロモンで誘引し、天敵微生物の胞子を付着させた後にもとの個体群に戻し、カツオブシムシの増殖速度を抑えることに成功している。

性フェロモンによる防除実験例は、20種ぐらいの害虫について試みられ、成功例も多数報告されている。それらの成功例や報告例の裏には、同数以上の報告されない不成功例があるものと推察される。本文では、大量誘殺法、交信かく乱法及び他の手段との併用法について、これまでに明らかにされた問題点について検討したい。性フェロモンによる害虫防除法については、既に、玉木・中村(1976)¹⁰⁾、中村・玉木(1976)¹¹⁾、玉木(1978)¹²⁾、などの総説や解説があるので参照されたい。

II 大量誘殺法

1 性フェロモントラップの性的競争力

大量誘殺法において、最初に問題となることは、合成性フェロモントラップの捕獲力が、処女雌の誘引力をしのぐことができるかということである。

まず、合成性フェロモンが十分な性誘引活性を持つことが大量誘殺法の成功の前提である。例えば、チャノコカクモンハマキの性フェロモンは、(Z)-9-tetradecenyl acetate と (Z)-11-tetradecenyl acetate の7:3混合物とされていた⁹⁾が、合成性フェロモンの誘引力は、処女雌に比べて十分とはいえなかった。根岸らは、合成された(Z)-9, (E)-12-tetradecadienyl acetate を上記の性フェロモン混合物に1:1の割合で加えると、誘引性が2~6倍に増すことを見だし¹³⁾、チャノコカクモンハマキの大量誘殺法による防除実験の成功¹²⁾への道を開いた。なお、チャノコカクモンハマキの性フェロモンは、上記の2成分以外に、性誘引活性の発現に重要な成分と

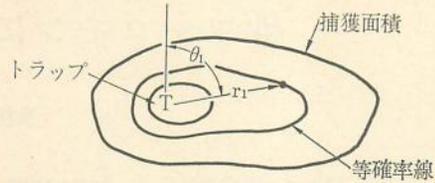
して、(E)-11-tetradecenyl acetate と 10-methyldeceyl acetate が見いだされ、4成分の63:31:4:2混合物は、処女雌に十分匹敵する誘引性を示すことが明らかにされた¹⁴⁾。また、合成(Z)-9, (E)-12-tetradecadienyl acetate が共力効果を示すのは、合成時の副産物として混在する 11-methyl-(Z)-9, 12-tridecadienyl acetate によることが明らかにされている¹⁵⁾。

処女雌に匹敵もしくは上回る捕獲力を性フェロモントラップが持つためには、トラップの構造も重要な因子である。性フェロモントラップの構造は、① 生け捕り型、② 粘着型、③ 電撃型、④ 殺虫剤型、⑤ 水一洗剤型に大別される¹⁶⁾。最も高い捕獲効率が得られるのは、電撃型の場合が多いが、トラップを多数設置する必要がある大量誘殺法の場合には、価格や取り扱いやすさなどの点を考慮して、小型の虫には粘着型、ヤガなどの比較的大型の虫には、生け捕り型のトラップが使われる。大量捕獲法に使うトラップの条件としては、① 捕獲効率が低いこと、② 設置、取り扱いが容易なこと、③ 価格が安いこと、④ 耐久性に優れること、⑤ 捕獲虫の収容力が十分なことなどが要求される。

2 トラップの誘引範囲と必要数

第1表に、数種の昆虫の性フェロモンの最大有効範囲を示した。性フェロモンに雄が反応する距離は、マイマイガの例を除いて、数mから数10mとされている。しかし、性フェロモントラップの場合には、この範囲に入った雄がすべて捕獲されるわけではないし、性フェロモンの有効範囲外にいた雄も、ランダム飛しょうの後性フェロモンの有効範囲に入り、捕獲されることもある。

大量捕獲法を成功させるためには、少なくとも95%以上の雄を、個体群から除去しなくてはならないと言われる。効率良く雄を捕獲するためにトラップ密度を決定する方法が、WOLF ら²¹⁾によって試みられた。そのあら



第1図 昆虫がトラップTに捕らえられ等しい確率を示す点を結んで作製したトラップの捕獲範囲 (WOLF et al., 1971)²¹⁾

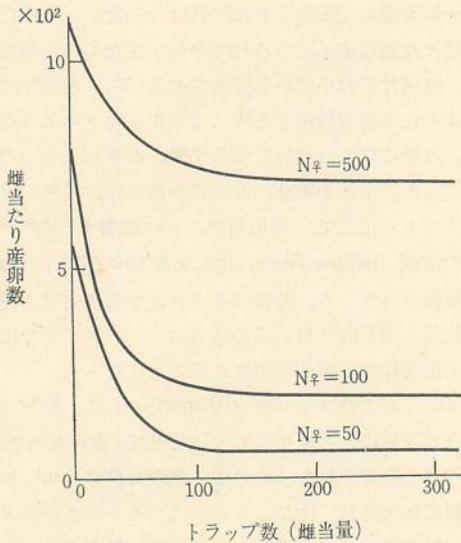
ましを紹介する。トラップの捕獲率(捕獲確率)は、最初雄がいた地点とトラップとの相対的な位置関係に依存すると考える。等しい捕獲確率を示す地点を線で結ぶと、等捕獲率曲線ができる(第1図)。この考え方に従えば、性フェロモントラップの有効範囲は、例えば50%捕獲範囲とか10%捕獲範囲と定義することによって、より実用的な概念になろう。等捕獲率曲線は、実験的には、トラップの周囲から雄を放すことによって得られる。トラップ密度は、捕獲範囲が対象区域全体をカバーするようにして決定する。

性フェロモントラップの捕獲効率は、気温や風、降雨などの気象因子、昆虫の日令や摂食の有無などの生理的な条件の影響を受ける。ハスモンヨトウは、気温が13°C以上のときに捕獲され¹⁷⁾、また、風速の増大や降雨によっても捕獲数が増加する。カブラヤガのように、季節によって、合成性フェロモントラップと処女雌トラップの誘引力が、相対的な変化を示す場合もある。

これまでに行われた大量誘殺法の場合には、トラップ密度は放飼雄の捕獲率などを考慮して、経験的に決められてきた。ハマキガの一種 *Argyrotaenia velutinana* の場合には、1ha 当たり 180~300 個のトラップで成功している¹⁸⁾。コドリングの場合は、1ha 当たり 5 個のトラップでは、十分な効果が認められていない¹⁹⁾。ワタミゾウム

第1表 性フェロモンの最大有効範囲 (玉木・中村, 1976)¹⁰⁾

昆 虫	誘 引 源	X_{max}	方 法
マイマイガ	1 雌	$u=100$ のとき 4,560m	BOSSERT and WILSON 式から 観 察 雄の反応距離から
イラクサキンウワバ	1 雌 フェロモン 25mg	22.5m 以上 48m	
アメリカシロヒトリ	1 雌	$u=50m$ のとき 20m	BOSSERT and WILSON 式から 観 察 マーク虫の捕獲から
ハスモンヨトウ	雌数匹 1 雌 フェロモン 1mg	3m $u=130$ のとき 60m 2~3m	
トウヒノシントメハマキ ハバチ	1 雌	30m 以下	観 察 トラップへの誘引から
(<i>Diprion similis</i>)	フェロモン 0.02 μ g	30~65m	
カツオブシムシ (<i>Attageus megatoma</i>)	フェロモン 1mg	8m	〃
カメムシ (<i>Lygus hesperus</i>)	1 雌	2~3m	観 察



第2図 シミュレーションによって得られたトラップ数と雌当たり産卵数との関係
 $N_{\text{♀}}$: 設定された処女雌の数 (中筋・藤田, 1978)²²⁾

シの場合は、1 ha 当たり 1~4 個のトラップで雌の大量誘殺法を行った²⁰⁾。トラップの密度は、個々の虫について、野外実験に基づいて決定する必要がある。

3 害虫の生息密度

大量捕獲法は、害虫の生息密度が低いときに成功している。ROELOFS ら¹⁸⁾が行った実験でも、小発生期のリンゴ園を使った場合に、ハマキガの一種 *A. velutinana* の被害の減少に成功したが、高密度の園では、十分な効率が得られなかった。

中筋・藤田²²⁾は、久野²³⁾の交尾確率に関するモデルをもとに、生息密度が異なる場合の大量誘殺法のシミュレーションを行って、害虫密度と効果の関係を説明した。彼らのシミュレーションの結果(第2図)によれば、成虫密度が低いとき ($N_{\text{♀}}=50$) は、雌当たりの産卵数(受精卵)を大幅に減少させることができるが、成虫密度が高くなると ($N_{\text{♀}}=500$)、トラップの数をいくら増しても、雌当たりの産卵数を一定値以下に下げることができないことを示している。このモデルによれば、成虫密度が分かれば、産卵数と、効率的なトラップ密度が推定できる。シミュレーションを行うためには、成虫密度、成虫の羽化曲線、生存率、交尾可能回数、処女雌のフェロモンの有効面積、トラップの捕獲効率など、対象害虫に関する基本的なデータを必要とするのは言うまでもない。

4 周辺個体群からの移入

コドリガを対象にカナダで行われた二つの実験の例が、大量誘殺法において、周辺個体群からの移入が、成功、不成功に重要な因子であることを示している。1973~74年、14 ha のリンゴ園に、ha 当たり 34 個のトラップを設置して大量誘殺を行ったが、年次を追うごとに誘殺数、被害果率共に増加し、初期密度が十分低かったにもかかわらず、不成功に終わっている²⁴⁾。一方、1973~75年に2 ha のリンゴ園を対象に行われた大量誘殺法の実験では、トラップ密度が1 ha 当たり 10 個で、前者に比べて少なく、初期密度も高かったにもかかわらず、無処理園の平均被害率の 15% を 0.03~0.5% に下げること成功した²⁵⁾。両者の明暗を分けたのは、前者が周囲の果樹園からの移入があったのに対し、後者のリンゴ園が、周囲から十分よく隔離され、周辺個体群からの移入がなかったことであるとされている。

チャノコガクモンハマキの場合、5 a 程度のは場を対象とした大量誘殺法が実験的に成功している⁴²⁾。対象は場は周囲と十分隔離されていないが、雌の移動能力が小さいことと、性フェロモン源に強力な Synergist を使用したことが、成功に結び付いたのであろう。

アメリカ農務省が中心となって行ったワタミゾウムシ根絶実験において、合成性フェロモン(雌が誘引される)による大量誘殺法が組み込まれているが、対象面積直径 80 km の周囲に、幅 80 km の緩衝地帯(対象地域と同じ処理をするが、根絶計画の対象とはしない)が設定されている²⁶⁾。緩衝地帯の幅は、ワタミゾウムシの最大移動距離 72 km²⁷⁾ に基づいて設定された。

四国農業試験場と中国農業試験場が協力して行った、合成フェロモンとウイルスを組み合わせたハスモンヨトウの最初の防除実験²⁸⁾において、30 ha のは場が設定され、30 台の合成性フェロモントラップによる大量誘殺法が試みられた。しかし、大量誘殺だけでは、十分な防除効果は得られなかった。その理由として、ハスモンヨトウの行動範囲²⁹⁾に比べて、防除対象面積が小さく、周囲の個体群からの侵入があったことが第一に考えられている。ハスモンヨトウの大量誘殺は、その後事業化されて、対象面積を 250 ha、または、それ以上に拡大した事業も行われた。しかし、この面積といえども、一夜に 5 km 以上飛しょうする能力のあるハスモンヨトウを対象とした場合には、十分とは言えない。後に述べる効果の評価法が確立されていないこともあって、事業の成功、不成功は十分に評価されていない。数 ha 程度の規模の事業では、周囲からの移入がない(これを断定するのは大変難しいが)ような、十分に隔離されたは場が選定さ

れない限り、大量誘殺の効果は初めから期待できないだろう。

5 効果の評価法

この問題については、交信かく乱法の項で述べる。

III 交信かく乱法

1 交信かく乱の機構

性フェロモンによる交信かく乱法は、合成性フェロモンを、対象害虫の発生時期、特に成虫の交尾時期に空气中に大量に放出すると、雄が雌を見付けられなくなることに基づいている。交信かく乱の機構については、① 合成フェロモン源と本物の雌を区別することができず、雄が合成フェロモン源に無駄な定位を繰り返すという「雄の困惑」、② 雄の触角上のおい受容器で適応が起こり、本物の雌のフェロモンが新たな刺激源となっても信号を発しなくなる、③ 触角上の受容器から信号は発するが、中枢神経系での慣れにより行動が解発されない、などが考えられているが、詳しいことは現在のところ不明とされている¹²⁾。

交信かく乱は、性フェロモンの構成成分や性フェロモンの類縁化合物によっても起こることがある。性フェロモンの構成成分による交信かく乱機構も詳細は不明だが、① 性フェロモンの一成分が、空气中に存在していると、新たに本物の性フェロモン混合物が与えられても、構成成分の量比に変化が生じて、正常の化学信号として機能しなくなる、② 性フェロモン成分の一つでは、信号としては不完全だから、雄の行動は解発されないが、中枢神経レベルでは、前述の「慣れ」現象により、正常な性フェロモン信号の解釈が不可能になる、③ 成分により機能の違いがある場合、仮に一方の成分が雄に「雌が近い」ということを示す信号であったとすると、この成分を空气中に漂わせると、雄はどこにいても「雌が近い」という信号を受けることになるので、雌を見付けられない、などの説がある¹²⁾。

性フェロモンの類縁体には、交信かく乱効果を示すものがあるが、その機構は全く不明である。以下、交信かく乱物質としてこれらも含めて、交信かく乱法の問題点について述べる。

2 交信かく乱物質の処理法及び処理量

交信かく乱法は大量捕獲法に比べて、害虫密度の影響を受けにくいとされている。このことは、中筋と藤田²²⁾のシミュレーションモデルでも示されている。また、殺虫剤的な散布法が開発され、アメリカでは、性フェロモン利用の主流となりつつある。

性フェロモンなどの交信かく乱物質は、対象ほ場全体

に均一に安定して拡散させなければならない。そのため、様々な処理法が試みされてきた。主なものを列挙すると、金属などの小皿から揮散させる^{6,30)}、ろ紙にしみ込ませたものを散布する³¹⁾、ゴムキャップにしみ込ませて、ほ場に立てた細竹につるす²⁸⁾、ポリエチレンの毛細管に入れ、全体を輪状にして植物体に掛ける³²⁾、マイクロカプセル化して、殺虫剤のように散布する^{30,33~36)}、中空の繊維 (hollow fiber) 化して散布する³⁷⁾ などの方法が報告されている。特にマイクロカプセル化は、従来の殺虫剤と同じ取り扱いができるので、アメリカでは交信かく乱実験で、多く使用されるようになった。

マイマイガの性フェロモン *disparlure* は、初期は対象となる森林に、ろ紙にしみ込ませて、ha 当たり 49 g の割合で散布された。その後、処理面積は km² 単位の規模に拡大され、性フェロモンはマイクロカプセル化され、航空機から ha 当たり 2.5~20 g 散布されて、放飼した雌あるいは野生雌の交尾率、及び卵塊密度とふ化率を低下させることに成功している^{33~35)}。

ワタノアカミムシの場合、まず合成化合物のフィールドスクリーニングで発見された性誘引物質 *hexalure* を用いて、交信かく乱実験が試みられた^{38,39)}。1973年には、シーズン中に 356 g/ha の *hexalure* を小皿から蒸散させてワタの被害を 83~93% 減少させるのに成功している。ワタノアカミムシの性フェロモンが 1973年に同定され⁴⁰⁾てからは、合成フェロモンによる交信かく乱実験が GASTON ら³²⁾によって行われた。合成性フェロモン (*gossyplure*) を内径 0.22 mm のプラスチック製の細い管の中に入れ、全体を輪状にして、23 ha のワタ畑に 1m 間隔で植物体に取り付け、シーズン中に ha 当たり 33 g の性フェロモンを揮散させたところ、殺虫剤の平均使用回数を無処理の 2.6 回から 0.3 回に減少させることができた。

GASTON らは、手作業によってフェロモン源を植物体に取り付けたが、アメリカの Conrel 社は、短く切った中空繊維を粘着物質とともに動力散布機によって散布する方法により、処理の省力化を行ったという¹²⁾。

交信かく乱物質による処理は、大量誘殺法に比べて多量の化合物を必要とする。これまでの例ではシーズン中に ha 当たり 5~200 g の交信かく乱物質が環境中に放出されている。殺虫剤散布の場合の成分量、ha 当たり 0.5~1.5 kg に比べると、それは1けた少ない量であるが、持続的に放出されるので化合物の安全性のチェックは必要であろう。

交信かく乱法は、大面積を大量の交信かく乱物質で処理するので、性フェロモンの特徴である種特異性という

点で疑問が生じる。例えば、(Z)-9-tetradecenyl acetate はコカクモンハマキ 2 種の性フェロモン構成成分であると同時に、ハスモンヨトウもこの物質を放出しているなどの例をはじめ、20 種以上の昆虫の性フェロモン、あるいは、その構成成分であることが知られている。更に、同数くらいの蛾に対して、性誘引活性を示すことが知られている。また、交信かく乱物質として作用する種も多数あると推察される。したがって、アメリカのように、何 km² も単一の作物が栽培され、徹底的に自然生態系が破壊し尽くされた環境ならいざ知らず、我が国のように、多様な自然生態系も残す農業地域に、交信かく乱物質を大量に広範囲に処理すれば、予期しない場面に思わぬ影響が生じる可能性がある。大面積画一処理は、慎重に行うべきと思われる。

3 周辺個体群からの移入

周辺個体群からの移入は、交信かく乱法の場合にも重要な問題である。マイマイガの場合³¹⁻³⁴、雌の移動能力が極めて小さいうえに、km² 単位の処理が行われたことが、防除実験が成功した理由であろう。

ワタノアカミムシの場合にも、性フェロモン処理区に個体群の侵入があったことが報告されている。ワタノアカミムシは、アメリカにおいて、強い風と熱帯性の嵐に乗って、カリフォルニア州南部を北西に長距離移動し、州中部に達すると報告されている⁴¹。

4 効果の評価法

性フェロモン利用による害虫防除は、雌の交尾を妨害して、産卵数を減少させることを目的とするのであるから、効果の評価は、雌の交尾率や産卵数の調査で行うのが本来的であるが、現実には、マイマイガなどの一部の虫を除いて、雌成虫や卵の発見は困難である場合がほと

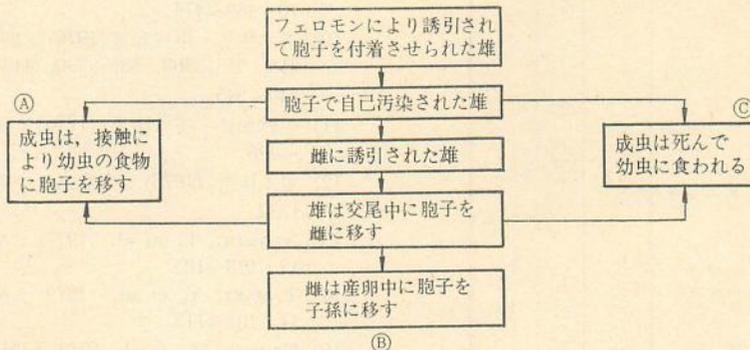
んどである。したがって、性フェロモンによる防除実験では、効果は雄のトラップへの捕獲数、次世代の幼虫密度、被害率などに基づいて評価される場合がほとんどである。雌の交尾率に関する知見を得る方法には、野生雌の交尾率調査³³、放飼雌の交尾率調査³³、つなぎ雌の交尾率調査²⁸)などがある。産卵数調査は、マイマイガ以外では行われていない。なお、中筋・藤田²²)のシミュレーションによれば、雌の交尾率と産卵数とは単純な比例関係にはなく、産卵数を 1/5 にするためには、交尾率を 95% 以上低下させる必要があるという。

性フェロモンによる防除は、加害期(幼虫期)には直接作用しないので、被害の減少が性フェロモン処理の効果であるかどうかは、批判的に評価されるべきであろう。

IV 他の防除手段との組み合わせ法

KNIPPLING and MCGUIRE⁸) は性フェロモントラップによる大量誘殺法のモデルと同時に、捕獲した雄を不妊化してもとの個体群に戻す方法も提案したが、雄の不妊化という過程には、人体にも危険が大きい放射線(γ線)や化学不妊化剤などによる処理が必要なため実証されたことはない。

最近、SHAPAS ら⁹) は、カツオブシムシの雄を性フェロモンで誘引し、性フェロモン源に処理された天敵原生動物 *Mattesia trogodermae* の胞子に接触させ、もとの個体群に戻してやることにより、病原体を個体群に導入することに成功した。その結果、増殖速度は無処理の 1/6 に低下した。病原体は、第 3 図に示す過程により伝染していくと考えられている。すなわち、雄は性フェロモンに誘引されて、病原体で汚染(性フェロモン源で生殖器



第 3 図 病原原生動物 *Mattesia trogodermae* を性フェロモンを使ってカツオブシムシ個体群に伝搬させる際に想定される経路。

A, B, C の過程が、幼虫に感染させ、個体群密度を下げるために必要 (SHAPAS et al., 1977)⁹)

を出すので、生殖器に多く付着する)される。病原体は交尾により雄から雌へと伝搬される。この雌が産んだ卵は、病原体で汚染されているので、ふ化しても死亡率が極めて高い。死亡した個体は、カツオブシムシの生活環境を病原体で汚染することになる。

この方法の特徴は、低密度のときに効果が高い大量誘殺法と、密度が高くなると効果が高くなる天敵微生物の長所を組み合わせた点にある。また、材料が得にくい天敵微生物を、雄に「運び屋」をやらせることにより、効率的に害虫個体群に導入することができる方法である。この方法は、農作物害虫では試みられていないようであるが、今後、試みる価値は十分にあると思われる。

V 性フェロモン利用による直接防除の将来

我が国の農作物害虫で性フェロモンが同定された害虫は、第2表に示すように20種を超えようとしている。この中には、誘引性が確認されておらず、性フェロモンとしては、不完全なものも含まれる。この中で性フェロモンによる直接防除の研究は、ナシヒメシンクイ、チャ

第2表 我が国の農作物害虫で性フェロモン、または性誘引物質が同定されたものとその利用についての研究

種名	誘引性の確認*	発生消長	直接防除の試み	
			大量誘殺	交信かく乱
稲作害虫				
ニカメイガ	○			
イネヨトウ				
フタオビコヤガ	○	○		
畑作害虫				
ハスモンヨトウ	○	○	○	○
ヨトウガ	○			
カブラヤガ	○	○		
タマナヤガ	○			
アワヨトウ	○			
クサシロヨトウ				
アワノメイガ				
ジャガイモガ	○	○		
イモコガ	○			
コナガ	○			
ネギコガ	○	○		
カンシャノシンクイハマキ				
マメコガネ				
永年性作物害虫				
チャノコカクモンハマキ	○	○	○	
リンゴコカクモンハマキ	○	○		
ナシヒメシンクイ	○		○	
リンゴモンハマキ	○	○		
チャハマキ	○	○		
モモシンクイ	○	○		
コスカシバ	○	○		
ヒメコスカシバ	○	○		

* 日本で確認されたものに○印を付けた。

ノコカクモンハマキ、ハスモンヨトウの3種を中心に進められてきた。更に多数の害虫の性フェロモンが明らかにされ、利用研究がより多数の害虫について進められなければならない。そのためには、玉木¹²⁾が指摘する障害、合成フェロモンの不十分な供給体制、大面積の野外実験を行うための組織的、予算的裏付けの欠落、行動制御という新分野における試験研究施設と研究者層の薄いことの三つの障害を克服しなければならない。

性フェロモン利用による害虫防除法は、殺虫剤による防除と異なり、直接加害期に作用せず、また、害虫を根絶することもないソフトな技術といえる。したがって、性フェロモンだけを有効な防除法と考えるのは、殺虫剤だけで、あらゆる害虫を防除できると考えるのと同じ誤りを犯すことになろう。増殖過程にのみ作用する性フェロモン利用技術は、他の防除手段と総合的に組み合わせた総合防除法の一技術として、具体的な防除体系に組み込まれて、初めてその長所を生かせる技術となろう。

引用文献

- 1) BUTENANDT, A. et al. (1959) : Z. Naturforsch. B14 : 283~284.
- 2) BURGESS, E. D. (1964) : Science 170 : 87.
- 3) BERGER, R. S. (1966) : Ann. Ent. Soc. Am. 59 : 767~771.
- 4) GASTON, L. K. (1967) : Nature 213 : 1155.
- 5) TAMAKI, Y. et al. (1971) : Appl. Ent. Zool. 6 : 139~141.
- 6) ——— et al. (1971) : Kontyu 39 : 338~340.
- 7) KUWAHARA, Y. et al. (1971) : Science 171 : 801~802.
- 8) KNIPLING, E. F. and J. U. McGUIRE, Jr. (1966) : Agr. Infor. Bull., USDA, No. 308 : 1~20.
- 9) SHAPAS, T. J. et al. (1977) : J. Econ. Ent. 70 : 469~474.
- 10) 玉木佳男・中村和雄(1976) : 農業技術 31 : 310~315, 355~360, 385~390, 449~452, 492~495, 540~545.
- 11) 中村和雄・玉木佳男(1976) : 植物防疫 30 : 421~426.
- 12) 玉木佳男(1978) : 農業および園芸 53 : 1328~1332.
- 13) NEGISHI, T. et al. (1977) : Appl. Ent. Zool. 12 : 178~183.
- 14) TAMAKI, Y. et al. (1979) : Appl. Ent. Zool. 14 : 101~113.
- 15) NEGISHI, T. et al. (1979) : ibid. 14 : 478~483.
- 16) 若村定男(1977) : 植物防疫 31 : 269~274.
- 17) ÔTAKE, A. and M. OYAMA (1974) : Appl. Ent. Zool. 9 : 19~28.
- 18) ROELOFS, W. L. et al. (1970) : J. Econ. Ent.

- 63 : 1162~1167.
- 19) McLELLAN, C. R. (1976) : Can. Ent. 108 : 1037.
- 20) HARDEE, D. D. and F. J. BOYD (1976) : "Boll Weevil Suppression, Management, and Elimination Technology", Proc. Conf. Memphis, Tennessee, Feb. 13~15, USDA, 82~89.
- 21) WOLF, W. W. (1971) : J. Econ. Ent. 64 : 872~877.
- 22) 中筋房夫・藤田知幸 (1978) : 昆虫のフェロモンとその利用, 日本植物防疫協会編. 147~153.
- 23) KUNO, E. (1978) : Res. Popul. Ecol. 20 : 235.
- 24) Proverbs, M. D. et al. (1975) : Can. Ent. 107 : 1265~1269.
- 25) MADSEN, H. F. et al. (1976) : J. Econ. Ent. 69 : 597~599.
- 26) BOYD, F. J. (1976) : "Boll Weevil Suppression, Management, and Eradication Technology", Proc. Conf., Memphis, Tennessee, USDA, 62~69.
- 27) JOHNSON, W. L. et al. (1976) : Ann. Ent. Soc. Am. 69 : 421~422.
- 28) 小山光男ら (1978) : 応動昆 22 : 269~280.
- 29) 小山光男・若村定男(1976) : 同上 20 : 151~156.
- 30) TASHENBERG, E. F. and W. L. ROELOFS (1974) : Environ. Entomol. 5 : 688~691.
- 31) STEVENS, L. J. and M. BEROZA (1972) : J. Econ. Ent. 65 : 1090~1095.
- 32) GASTON, C. K. et al. (1977) : Science 196 : 904~905.
- 33) CAMERON, E. A. et al. (1974) : ibid. 183 : 972~973.
- 34) BEROZA, M. et al. (1974) : J. Econ. Ent. 67 : 659~664.
- 35) ——— et al. (1975) : Environ. Entomol. 4 : 705~711.
- 36) CARDÉ, R.T. et al. (1975) : ibid 4 : 448~450.
- 37) ——— et al. (1977) : Ent. exp. appl. 22 : 280~288.
- 38) McLAUGHLIN, J. R. et al. (1972) : Environ. Entomol. 1 : 645~650.
- 39) SHOREY, H. H. et al. (1974) : J. Econ. Ent. 67 : 347~350.
- 40) HUMMEL, H. E. et al. (1977) : Science 181 : 873~875.
- 41) STERN, V. M. (1979) : Environ. Entomol. 8 : 524~527.
- 42) NEGISHI, T. et al. (1980) : Appl. Ent. Zool. 15 : 113~114.

中央だより

—農林水産省—

○病害虫発生予察事業特殊調査成績検討及び計画打合せ会開催さる

病害虫発生予察事業特殊調査のうち、「果樹のカメムシ類の発生予察方法の確立に関する特殊調査」の昭和54年度事業成績検討及び昭和55年度事業打合せ会が次のとおり開催された。

- 1 日時 昭和55年4月5日 9時30分から13時
- 2 場所 農林水産省農蚕園芸局第1会議室
- 3 出席者 果樹試, 農事試, 農工大, 東京農大, 担当県(福島, 千葉, 長野, 奈良, 鳥取, 福岡), 植物防疫課。

○昭和55年度病害虫発生予報第1号発表さる

農蚕園芸局は55年4月26日付け55農蚕第2795号昭和55年度病害虫発生予報第1号をもって、向こう約1か月間の病害虫発生動向の予想を発表した。

イネ：ヒメトビウンカは局地的に越冬密度が高いほかは並以下です。籾葉枯病はヒメトビウンカの保毒虫率が関東北部で高くなっており、また北海道で保毒虫の分布が拡大しているため、今後発生動向に注意が必要です。ツマグロヨコバイは黄萎病の発生地帯における越冬密度は並以下です。今後、黄萎病の発生は並以下と

予想されます。

ムギ：赤さび病及び小さび病は一部で発生していますが、黄さび病及び黒さび病は未発生です。今後、いずれの発生も並以下と予想されます。赤かび病は九州の一部で発生しています。全般的には並以下と予想されます。

カンキツ：かいよう病は越冬病斑量がやや多く、今後、発生はやや多、そうか病は並以下と予想されます。

リンゴ：モニリア病はやや多、うどんこ病は並以下と予想されます。キンモンホソガは越冬率が東北北部でやや高いほかは並以下です。今後、発生時期はやや晩、発生量は北海道・東北北部で多いほかは並以下と予想されます。リンゴハダニの発生時期はやや晩、発生量は並と予想されます。

ナン：黒斑病は並、黒星病は並以下、赤星病は並、ハダニ類及びクワコナカイガラムシは並と予想されます。

モモ：黒星病は並以下と予想されます。

ブドウ：ブドウスカシバは並以下と予想されます。

カキ：カキミガは並以下と予想されます。

チャ：コカクモンハマキは発生時期は並、発生量はやや多と予想されます。カンザワハダニは全般的に並以下と予想されます。霜害をうけた地方では二番茶芽の被害に注意が必要です。チャハマキは並、白星病及びチャノホソガは並以下と予想されます。

○指定病害虫14種追加指定さる

農林水産省は、植物防疫法施行規則の指定有害動植物

に、重要な野菜病害虫 14 種 (害虫 5 種, 病原菌 9 種) を新たに指定することに伴い、55 年 4 月 11 日付けで省令を改正し、同日付けで施行した。

概要は次のとおり。

55 年度から野菜病害虫発生予察事業が発足するが、野菜の重要性 (作付面積, 生産額), 病害虫の発生・被害面積, 発生, 被害の報告のある都道府県数, 作物単位での病害虫の重要性, 発生生態等を勘案し、野菜の重要な病害虫を指定有害動植物に指定し、国の発生予察事業の対象とし予察に基づく防除対策等を行うこととし、施行規則第 40 条を次のように改正した。(新指定有害動植物はゴチック体)。

有害動物: いねのウンカ類, いねのヨコバイ類, いねのメイチュウ類, イネクロカメムシ, イネハモグリバ

エ, イネドロオイムシ, ヤノネカイガラムシ, クワコナカイガラムシ, ミカンハダニ, リンゴハダニ, ナシヒメシメクイ, コカクモンハマキ, カキヘタムシ, パイナップルカイガラムシ, カンジャコバナナガカメムシ, 野菜のアブラムシ類, ハスモンヨトウ, ヨトウガ, コナガ, モンシロチョウ

有害植物: いねいもち病菌, いねもみがれ病菌, いねしらはがれ病菌, むぎさび病菌類, むぎうどんこ病菌, むぎあかかび病菌, かんきつそうか病菌, かんきつこくてん病菌, りんごはんでんらくよう病菌, りんごモニア病菌, なしこくはん病菌, ぶどうおそぐされ病菌, トマトえき病菌, トマトはいいろかび病菌, きゅうりべと病菌, きゅうりうどんこ病菌, きゅうりはんでんさいきん病菌, すいかつるがれ病菌, はくさいなんぶ病菌, キャベツくろぐされ病菌, レタスキんかく病菌

協会だより

○編集部より

本年 2 冊目の特集号をお届けします。「昆虫の行動制御物質」と題し、9 題の論文を併録してあります。「行動制御物質と害虫管理」を巻頭に、各論で 8 題が解説され

ております。

本号は口絵写真は休載です。

また、55 年 3 月に登録された農業は、本号の記事が多いので、次号回しとしました。御了承下さい。

次号予告

次 6 月号は下記原稿を掲載する予定です。

メキシコのチチュウカイミバエ侵入阻止作戦

小山 重郎

イネもみ枯細菌病の発生生態

後藤 孝雄

ダイズ疫病の感染機作

吉川 正明

転換畑ダイズにおける紫斑病の生態と防除

鈴木 穂積

チャを加害するヨモギエダシヤクの生態と防除

高橋 浅夫

カイガラムシ類の寄生蜂 *Aphytis* 属の分類をめぐる

諸問題

高木 一夫

植物防疫基礎講座

人工飼料によるセンノカミキリの大量飼育

阿久津喜作・新井 茂・本多健一郎

DNS 法による CMV の検出

大木 理

定期購読者以外の申込みは至急前金で本会へ

1 部 400 円 送料 29 円

植物防疫

第 34 巻 昭和 55 年 5 月 25 日印刷

第 5 号 昭和 55 年 5 月 29 日発行

実費 450 円 送料 29 円 1 か年 5,000 円 (送料共概算)

昭和 55 年

5 月号

(毎月 1 回 30 日発行)

編集人 植物防疫編集委員会

発行人 遠藤 武雄

印刷所 株式会社 双文社印刷所

東京都板橋区熊野町 13-11

—発行所—

東京都豊島区駒込 1 丁目 43 番 11 号 郵便番号 170

社団法人 日本植物防疫協会

電話 東京 (03) 944-1561~4 番

振替 東京 1-177867 番

—禁 転 載—

増収を約束する 日曹の農薬

殺菌剤

トップジンM 水和剤

トリアジン 水和剤

ホーマイ 水和剤

アタッキン 水和剤

ラビライト 水和剤

日曹プラントボックス 水和剤

殺虫剤

ホスピット75 乳剤

ガードサイド 水和剤

殺ダニ剤

シトラゾン 乳剤

クイックロン 水和剤

マイトラン 水和剤

ダニマイト 水和剤

ピロダン 乳剤

植物成長調整剤

ビーナイン 水溶液80

くん煙剤

ジェットVP

トリアジンジェット

展着剤

ラビデンSS



日本曹達株式会社

本社：東京都千代田区大手町2-2-1 〒100

支店：大阪市東区北浜2-90 〒541

営業所：札幌・仙台・信越・高岡・名古屋・福岡

予約募集中！

日本植物病理学会編集

日本植物病理学史

予約希望の方は予約金 2,600 円を添えて、下記あてお申込み下さい。

〒170 東京都豊島区駒込1丁目 43-11 植防ビル内

日本植物病理学会（振替口座 東京 0-41498）

内 容

序 文

第1編 緒 論

- 第1章 植物病理学事始め
- 第2章 戦前における日本植物病理学の発達
- 第3章 戦後における日本植物病理学の発達—技術史—
- 第4章 同 上 —科学史—

第2編 植物病理学研究史

- 第5章 ウィルス・マイコプラズマ
- 第6章 細菌
- 第7章 菌類
- 第8章 線虫
- 第9章 生理病

- 第10章 感染の生態
- 第11章 感染の形態
- 第12章 感染の生理
- 第13章 疫学（病害発生環境）
- 第14章 疫学（病害の伝染）
- 第15章 育種防除
- 第16章 薬剤防除
- 第17章 検 疫

第3編 病害防除研究史

- 第18章 概 説
- 第19章 イネ
- 第20章 ムギ・雑穀
- 第21章 いも類・まめ類
- 第22章 野菜類
- 第23章 果 樹

- 第24章 観賞植物
- 第25章 特用作物
- 第26章 牧 草
- 第27章 樹 木
- 第4編 その他の活動、事業史
- 第28章 日本植物病理学会の活動
- 第29章 試験研究組織の発展
- 第30章 国際協力の発展

年 表

- I 学会活動 II 研究活動
- III 研究機関 IV 防疫活動

人物史

卜蔵梅之丞ほか 21 氏

稲に安全、多年生雑草にも効く初期除草剤



サンバード粒剤

●田植がすんだらすぐまきましょう

三共株式会社農薬営業部

「サンバード粒剤」は、三共(株)が開発した新規ピラゾール系化合物10%を含有する新しい水田用初期除草剤です。水田に1回散布しただけで完全な除草効果を発揮できるものはないか——この夢のような願いが、長年にわたる研究の末、ここに実現しました。除草効果、殺草幅、稲や人に対する安全性、生産資材としての経済性など、初期除草剤に求められるすべての条件を高いレベルで満たした期待の大型除草剤です。

特長

- 1) 1年生雑草と多年生雑草を同時に防除——ノビエをはじめとする1年生雑草と、ウリカワ、ヘラオモダカ、ヒルムシロ、オモダカ、ホタルイ、ミズガヤツリ、マツバイなどの多年生雑草を同時に防除。とくにウリカワ、ヘラオモダカには極めて安定した高い効果を示します。
- 2) 雑草発生前～発生始期の使用で長期間、抑草する——使用基準の条件で雑草の発生前～発生始期に使用すれば寒地・寒冷地では25～30日、暖地や温暖地では30日以上長い効果を示します。
- 3) 稲には安全——稲とノビエとの間には大きな選択性があり、

移植水稻(稚苗)はもとより、湛水直播栽培で播種直後に処理(登録申請中)しても、稲に薬害はほとんどありません。また殺虫・殺菌剤との近接散布による薬害の心配もありません。

- 4) 通常の水管理で高い効果——散布後の水田の湛水深による効力の変動は小さく、通常の水管理(湛水深3～5センチ)であれば高い効果をあらわします。
- 5) 人畜・魚類に安全——急性経口毒性ラット ♂ LD₅₀ 9,550mg/kg、ラット ♀ LD₅₀ 10,233mg/kg、魚毒性B類
- 6) 使いやすい——いやな臭気や刺激性もなく、極めて使いやすい薬剤です。
- 7) 周辺の畑作物に安全——ガス作用がないため、散布地周辺の畑作物に影響をおよぼさず安心です。

作用特性

水田に散布された「サンバード粒剤」は除々に有効成分が水に溶け、雑草の幼芽部や幼根部から吸収されます。そして、雑草体内でクロロフィル(葉緑素)の生成を阻害します。その結果、葉は脱色し白くなり(白化現象)、光合成ができなくなり、雑草は栄養飢餓となって枯死に至ります。

適用雑草および処理適期幅

雑草名 雑草生育程度	一年生雑草						多年生雑草							
	ノビエ	カヤツリグサ科	コナギ	キカシグサ	アゼ	ミゾハコベ	ウリカワ	ホタルイ	マツバイ	ミズガヤツリ	オモダカ	ヘラオモダカ	ヒルムシロ	クログワ
発生前	◎	◎	◎	○～◎	○～◎	◎	○～◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	×
発生始期 (ノビエ 0.5葉)	◎	◎	◎	○	○	○	◎	○～◎	◎	○	◎	◎	◎	×
発生盛期 (ノビエ1.0 ～1.5葉)	○～◎	◎	○～◎	○	○	○	◎	○	○	△	○～◎	◎	◎	×
発生摘期 (ノビエ2.0 ～2.5葉)	△	◎	○	△	△	△	◎	△	△	×	○	◎	○	×

注)

1. 発生始期(田植後3～4日頃)、発生盛期(田植後7～10日頃)、発生摘期(田植後12～15日頃)を示す。
2. 残草量：◎印は0～10%、○印は11～20%、△印は21～40%、×印はほとんど効果なし。

適用雑草と使用方法

「サンバード粒剤」の使用基準は別表のとおりですが、その効力を最大限にひき出すコツは、田植後(湛水後)の雑草発生前～発生始期(ノビエ1葉期まで)に処理することです。
 「田植がすんだらすぐまく」のが上手な使い方です。

上手な使い方

1) 田植がすんだらすぐまく。

田植後できるだけ早い時期(田植直後～田植後3日まで)の散布をおすすめします。

稚苗機械移植の場合、田植前の散布は、田植機の車輪やフロートで、すでに形成された薬剤の処理層がこわされたり、田植のとき浅水にしますので、このときに水にせっかく溶けていた有効成分が流されてしまったりするので、効力低下や抑草期間が短くなることがあります。作業上やむをえず田植前に使用しなければならないときは、散布量を4キロとしてください。田植後すぐ散布しても、稲には薬害の心配はありません。田植(湛水後)がすんだらすぐまくのが、効力を最大に発揮させます。

2) 整地や代かきはいいに行なう。

田面を均平にして、高低がないようにしてください。水管理を完全に行なうためにも是非必要な作業です。

3) ウリカワ、ヘラオモダカの優占田では、最大の効力を示す。

ノビエなどの1年生雑草の発生前から発生始期までに散布すれば、ウリカワ、ヘラオモダカの優占田では、これらの雑草を同時に防除することができます。

ミズガヤツリやホタルイなどでは、深いところから発生したものや、低温条件下などで、遅発生したものには効果が劣ります。この場合は他剤との体系処理が必要となります。

「サンバード粒剤」の適用雑草と使用方法

作物名	適用雑草名	使用時期	適用土壌	10a当り使用量	使用方法	適用地帯
稚苗移植	ノビエ等水田1年生雑草及びマツバイ ホタルイ ヘラオモダカ	植代後 田植前3日～ 田植後7日 (ノビエ1葉期)まで	壤土～埴土 (減水深 2cm/日 以下)	3～4kg	湛水のまま手まきあるいは散粒機で水面に均一散布する。	北海道
	ノビエ等水田1年生雑草及びマツバイ ホタルイ ウリカワ ミズガヤツリ	但し近畿以西ではノビエ(1.5葉期まで)	砂壤土～埴土 (減水深 2cm/日 以下)			

ウリカワ優占田での効力の発現を示しているのは写真①、

②です。この写真は農林水産省九州農業試験場で昭和53年と昭和54年と2年間作用特性試験として圃場で試験を行なっていたところを、撮影したものです。

4) 水管理には十分注意する。

①水もちの悪い水田や、水の移動のはげしい水田では効力が劣ることがあります。減水深2cm/日以上ある水田、畦畔からの漏水がはげしい水田では、効力が劣りますので、使用しないことが得策です。

②散布は必ず湛水状態にしてから行ない、散布後は3～4日間3～5センチ程度の水深を保つようにしてください。かけ流しや、田面の露出をするような水管理は、絶対にさけるようにしてください。

③水の補給が必要となったときには、水尻を止めたのち、ゆっくりと差し水をするようにして、極力水の移動をはげしくしないように、十分水が保つようにしてください。

以上、「サンバード粒剤」の概略を紹介しましたが、試験データなど詳細につきましては、三共(株)農薬営業部(東京都中央区銀座2-7-12)までお問い合わせください。



①処理区

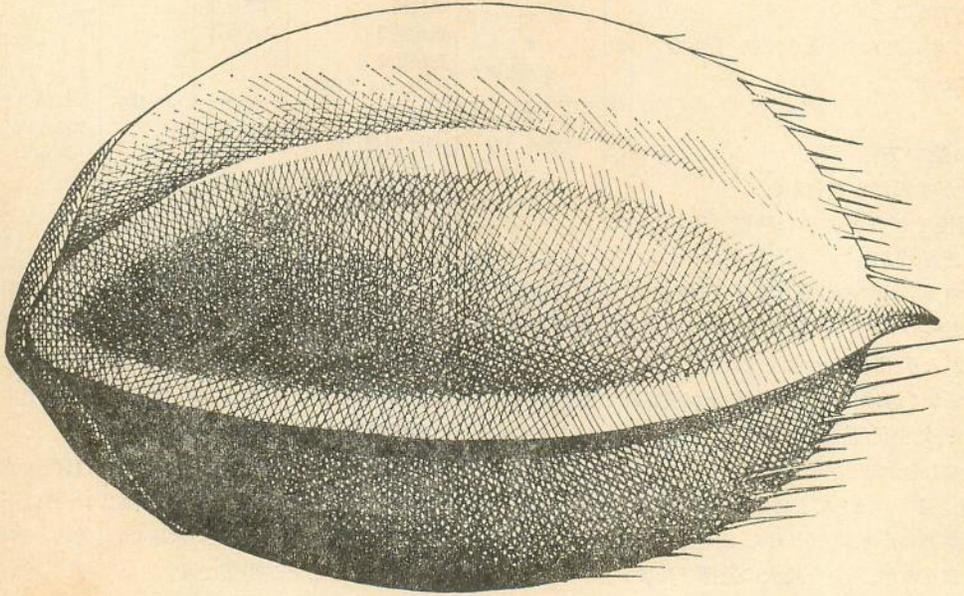


②無処理区



フジワンのシンボルマークです

やらなければならない、いもち防除。
やるからには、確実に…。



いもちに勝つ長い効果

- 散布適期中が広く、散布にゆとりがもてます。
- 効果が長期間(約50日)持続します。
- 粉剤2~3回分に相当する効果を発揮します。
- 育苗箱施薬により葉いもちが防げます。
- イネや他の作物に薬害を起こす心配がありません。
- 人畜、魚介類に高い安全性があります。

フジワン[®]粒剤

®は日本農薬の登録商標です

予防と治療のダブル効果

フジワン[®]乳剤・粉剤

●他の作物に薬害を起こす心配がありません。

フジワンスミチオン粉剤

フジワンND粉剤

フジワンダイアジノン粒剤



日本農薬株式会社

〒103 東京都中央区日本橋1-2-5栄太楼ビル

資料請求券

フジワン

植物防疫

北條良夫・星川清親 共編

作物—その形態と機能—

上 巻

A 5 判 上製箱入 定価 3,200円 千 200円

—主 内 容—

第1編 作物の種子／第1章 作物の受精と胚発生（星川清親） 第2章 種子の発芽（高橋成人） 第3章 種子の休眠（太田保夫）

第2編 作物の花成／第1章 作物の播性と品種生態（川口敦美） 第2章 春化現象（中條博良） 第3章 作物における花成現象（菅 洋） 第4章 野菜の抽臺現象（鈴木芳夫）

第3編 作物の栄養体とその形成／第1章 作物の葉（長南信雄） 第2章 作物の茎（長南信雄） 第3章 作物の根（田中典幸） 第4章 作物におけるエージング（折谷隆志）

第4編 作物の生産過程—その1—／第1章 光合成と物質生産（泉 和一） 第2章 C_3 、 C_4 植物と光呼吸（秋田重誠） 第3章 光合成産物の転流（山本友英） 第4章 光合成産物の供与と受容（北條良夫） 第5章 草姿、草型と光合成産物の配分（小野信一）

下 巻

A 5 判 上製箱入 定価 2,700円 千 200円

—主 内 容—

第5編 作物の生産過程—その2—／第1章 サツマイモ塊茎の肥大（国分禎二） 第2章 牧草の物質生産（泉和一） 第3章 葉菜類の結球現象（加藤 徹） 第4章 果樹の接木不親和性（仁藤伸昌）

第6編 作物の登熟／第1章 マメ類の登熟（昆野昭晨） 第2章 穀粒の登熟（星川清親） 第3章 穀粒の品質（平 宏和） 第4章 登熟と多収性（松崎昭夫）

第7編 作物の生育と障害／第1章 作物の倒伏と強靱性（北條良夫） 第2章 作物の倒伏と根（宮坂 昭） 第3章 イネの冷害（佐竹徹夫） 第4章 作物の大気汚染障害（白鳥孝治）

〈お申込みは最寄りの書店、または直接本会へ〉

東京都北区西ヶ原 1丁目26番3号 農業技術協会 振替 東京8-176531 千114 TEL (910) 3787



は信頼のマーク



予防に優る防除なし
果樹・そ菜病害防除の基幹薬剤

キノゾール® 水和剤 40

殺虫・殺ダニ 1剤で数種の剤の効力を併せ持つ

トーラック 乳剤

宿根草の省力防除に
好評！粒状除草剤

カソロン 粒剤 6.7

人畜・作物・天敵・魚に安全
理想のダニ剤

テデオン 乳剤 水和剤

兼商株式会社

東京都千代田区丸の内2-4-1

展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラ

展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラ

害虫バツサリ。
切れ味すご〜いなうなヤツ!

適用拡大(レタス・かんしょ・ばれいしょ・もも)

野菜のコナガ・ヨトウ・ウワバ・アブラムシなど
広範囲の害虫に効きめが鋭い!

ホスパー[®]乳剤

水稻・豆類に適用拡大(粉剤)

*ドリン剤に替る土壤殺虫剤

ネキリ、タネバエ、コオロギ、ケラ、ダンゴムシに

カルホス[®]粉剤
微粒剤F

*安定した健苗育成に

タチガレン[®]液剤
粉剤

*アオムシ、コナガなどそしゃく害虫に

カルホス[®]乳剤

*三共のボルドウ再登場!

斑点細菌病に薬害の少ない銅剤

三共[®]オキシボルドウ



三共株式会社

農業営業部 東京都中央区銀座2-7-12
支店 東京・仙台・名古屋・大阪・広島・高松

北海三共株式会社
九州三共株式会社

展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラミンS・泡のたたないグラミンS・展着剤はグラ

昭和五十五年五月二十五日印刷
昭和五十五年五月三十日発行
昭和二十四年九月九日第三種郵便物認可
植物防疫第三十四卷第五号
（毎月一回三十日発行）

ゆたかな実り＝明治の農薬

サッとひとまき

強い力がなが〜くつづく

いもち病に! **オリゼメート粒剤**

野菜・かんきつ・ももの
細菌性病害防除に

アグレプト 水和剤・液剤

イネしらはがれ病防除に

フェナジン 水和剤・粉剤

デラウェアの種なしと熟期促進に
野菜の成長促進・早出しに

ジベレリン明治



明治製薬株式会社

東京都中央区京橋2-4-16

実費 四五〇円 (送料 二九円)