

植物防疫

昭和五十二年
九月二十五日
第三十卷
第十号



1976

10

特集 昆虫の性フェロモン

VOL 30

斑点落葉病、黒点病、赤星病防除に

モルガス

斑点落葉病、うどんこ病、黒点病の同時防除に

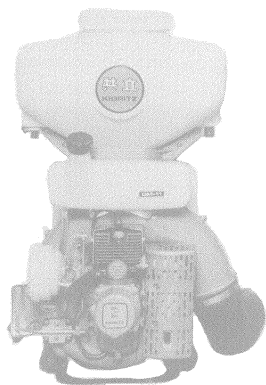
アールサン



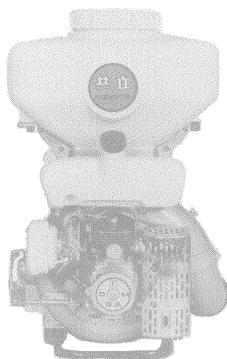
大内新興化学工業株式会社
〒103 東京都中央区日本橋小舟町1-3-7

動散で 除草剤 肥料 が安心散布

DM-11

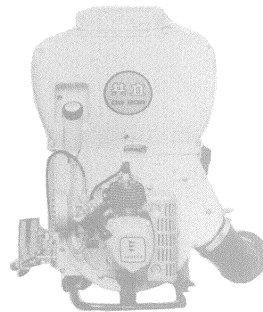


DM-9A



共立背負動力散布機

DG-202



株式
会社

共立



共立エコー物産株式会社

〒160 東京都新宿区西新宿 1-11-3 (新宿Kビル) ☎03-343-3231(代表)

クミアイ鼠とり

雨雪に耐えられる防水性小袋完成

ラテミン小袋
タリウム小袋



クマリン剤

固形ラテミンS=家鼠用

水溶性ラテミン錠=農業倉庫用

ラテミンコンク=飼料倉庫用

粉末ラテミン=鶏畜舎用

燐化亜鉛剤

強カラテミン=農耕地用

ラテミン小袋=農耕地用

タリウム剤

液剤タリウム=農耕地用

固形タリウム=農耕地用

タリウム小袋=農耕地用

モノフルオール酢酸塩剤(1080)

液剤テンエイテイ=農耕地用

固形テンエイテイ=農耕地用



取扱 全 農・経済連・農業協同組合
製造 大塚薬品工業株式会社

本社：東京都豊島区西池袋3-25-15 1Bビル TEL 03(986)3791
工場：埼玉県川越市下小坂304 TEL 0492(31)1235

種子から収穫まで護るホクコー農薬



種もみ消毒はやりなおしが出来ません

★ばかなえ病・いもち病・ごまはがれ病に卓効
デュボン

ペンレート[®] 水和剤20



効めの長い強力殺虫剤

★アブラムシからヨトウムシまで、これ一発でOK
安全・卓効・省力《新型浸透性殺虫剤》

ホクコー

オウルラン 粒剤
水和剤



いもち病に

カスラサイド[®] 粉剤・水和剤

果樹・野菜の各種病害に

トップジン[®]M 水和剤



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

キャベツ・さつまいも畑の除草に

プラナビアン[®] 水和剤

体系除草に(ウリカワにも)

グラキール 粒剤 $\frac{1.5}{2.5}$

〔効力・安全性・経済性〕

質には常に厳しく

★穿孔性害虫に卓効を示す

トラサイド 乳剤

★誘引殺虫剤

デナポン5%ベイト

★多年生雑草の防除に

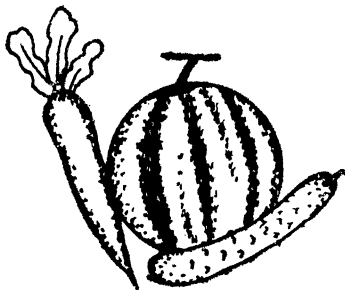
バサグラン 粒剤
水和剤

★作物の品質向上と増収に

ネアホルン

EDB 油剤30

DBCP 粒剤



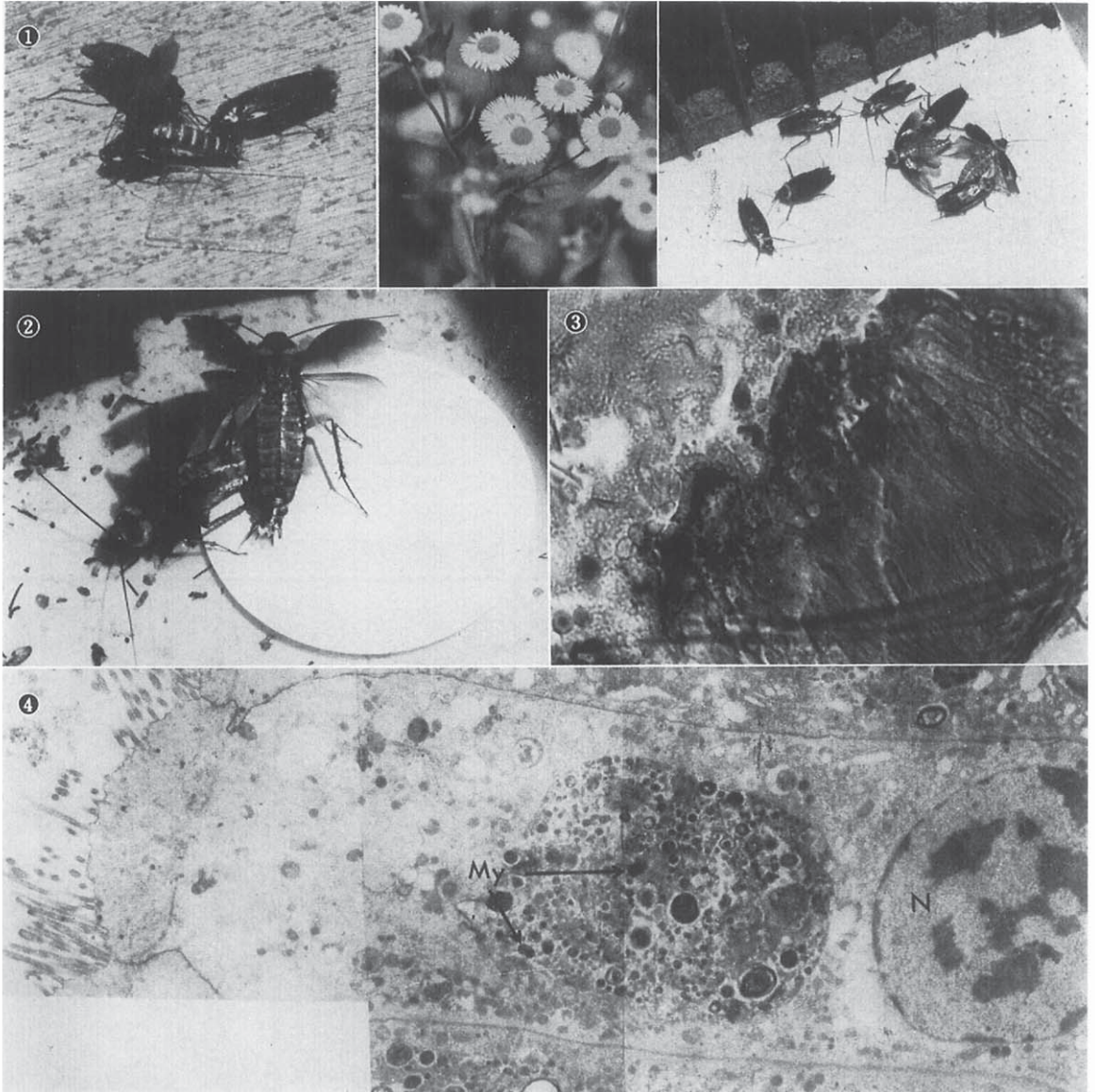
サンケイ化学株式会社

東京(03)294-6981 大阪(06)473-2010

福岡(092)771-8988 鹿児島(0992)54-1161

ゴキブリの配偶行動と性フェロモン

京都大学農学部農薬研究施設 高橋正三・北村実彬 (原図)

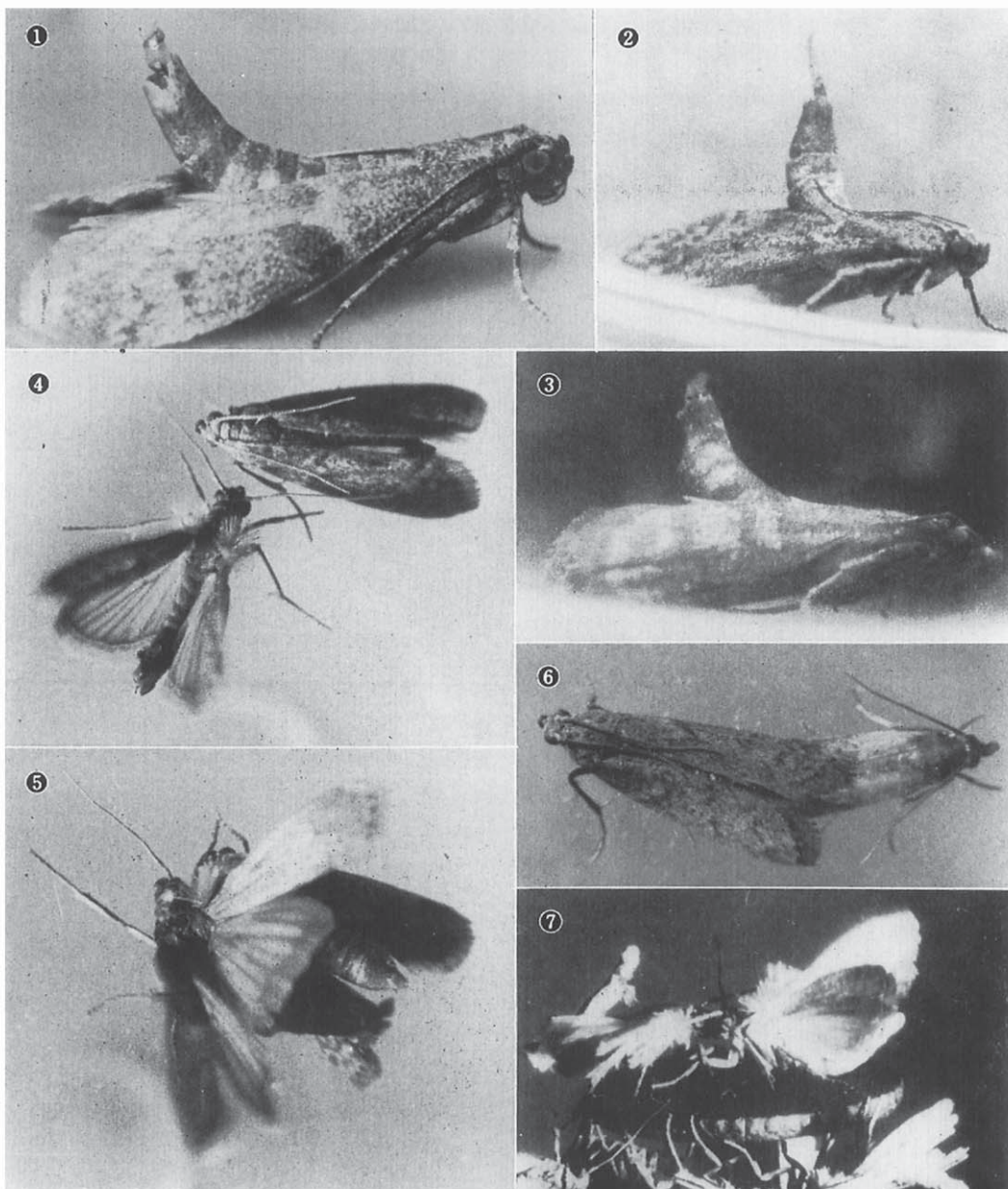


<写真説明>

- ① ヒメジヨン (中) : ヤマトゴキブリ (左), ワモンゴキブリ (右) の雄を興奮させる物質は, この植物から抽出した。
ヤマトゴキブリ, ワモンゴキブリ雄が, ヒメジヨン抽出成分の付着したガラス板に交尾行動をとっている。
- ② ワモンゴキブリ雄成虫の反応 (雌の飼育容器から取り出したろ紙に刺激されて交尾行動をとっているワモンゴキブリの雄)
- ③ ワモンゴキブリ雌の中腸にみられる親オスミウム性の顆粒
- ④ ワモンゴキブリ雌成虫の中腸にみられるミエリン像のある液胞 (電子顕微鏡, 6,300 倍)

昆虫性フェロモンによるメイガ類の生態

京都大学農学部農薬研究施設 桑 原 保 正 (原図)



<写真説明>

- ① コーリングをしているスジマダラメイガ♀
 - ② 〃 スジコナマダラメイガ♀
 - ③ 〃 ノシメマダラメイガ♀
- (①～③, 3種の♀は性フェロモンとして同一化合物 *cis*-9, *trans*-12-tetradecadienyl acetate を分泌発散する)
- ④ コーリングをしているスジコナマダラメイガ♀に誘引されて興奮しながら接近するスジマダラメイガ♂
 - ⑤ スジコナマダラメイガ♀に交尾を試みるスジマダラメイガ♂
 - ⑥ スジコナマダラメイガ♀と交尾しているノシメマダラメイガ♂
- (産下卵はふ化せず, F₁ は得られない)
- ⑦ 画紙の上に塗りつけたフェロモンに興奮して集まったスジマダラメイガ♂

特集：昆虫の性フェロモン

昆虫性フェロモン研究の現状と将来への展望	石井象二郎	1	
昆虫性フェロモンの化学的研究の諸問題	深海 浩	3	
昆虫嗅覚における「作用ユニットモデル」	菊池 俊英	9	
昆虫性フェロモンの種特異性と生殖隔離	玉木 佳男	16	
鱗翅目昆虫の雄から分泌される性フェロモンとその機能	湯嶋 健	22	
ゴキブリの配偶行動と性フェロモン	〔高橋 正三 北村 実彬〕	27	
鱗翅目昆虫の性フェロモンの拡散と雄成虫の誘引	中村 和雄	33	
昆虫性フェロモンの害虫防除への利用	〔中村 和雄 玉木 佳男〕	37	
新しく登録された農薬 (51.8.1~8.31)		43	
紹介 新登録農薬		44	
協会だより	44	学界だより	21
人事消息	8, 42		

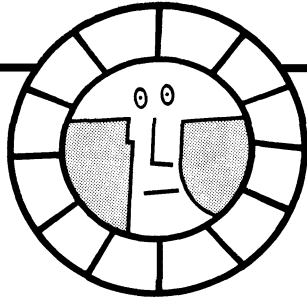
豊かな稔りにバイエル農薬



説明書進呈

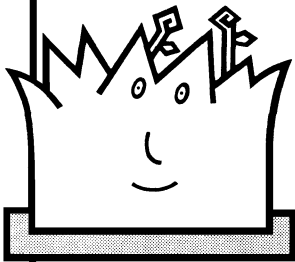
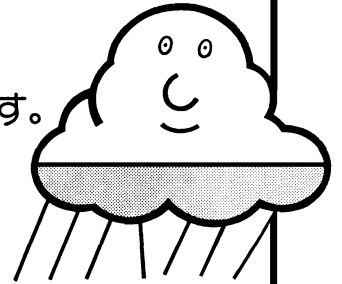


日本特殊農薬製造株式会社
東京都中央区日本橋室町2-8 ☎ 103



ふりそそぐ太陽のエネルギーは、すべての生命力の源です。

雲がはこんできた雨は、新鮮なうるおいを与えます。



自然の恵みと人間の愛情が、農作物を育てます。

お天気の日があつたり、雨の日があつたりして、農作物は実っていきます。そして、もうひとつ、人間の手で病害虫から農作物をまもってやらなければなりません。タケダは、自然にたいする人間の知恵と愛情で、農作物の健やかな成長を助けて行きたいと思ひます。



武田薬品工業株式会社

タケダ

● 稲害虫の総合防除に

● 稲もんがれ病に

パダン® **バリダシン®**

昆虫性フェロモン研究の現状と将来への展望

京都大学農学部農薬研究施設 いし
石 い
井 しょうじろう
象二郎

性フェロモンがブテナント (A. BUTENANDT) らによりカイコガから初めて単離され、その化学構造が解明されてから約 15 年たった。この性フェロモン Bombykol の強い生理活性と種特異性は、生物学者ばかりでなく、化学者や生化学者などに大きな関心をよび、各国で盛んにフェロモンの研究が行われるようになった。研究が進むにつれて、意外な結果や興味ある事実が現れてきて、しばらくは学会での中心課題の一つとなるであろう。本特集は現状を理解する上で大変有意義であると思う。

I 研究方法の進歩

Bombykol の単離にこぎつくまで約 20 年を要したこと、最終的な単離に成功したのは約 50 万匹の処女雌を材料に供したという BUTENANDT らの結果は、性フェロモンの化学的な研究がいかに難しいかを物語っている。事実私どもの研究室で桑原ら (1971) によるスジマダラメイガ *Cadra cautella* の性フェロモンの単離には 120 万匹の雌を材料にした。初期の単離では数万ないし数十万匹が必要とされた。ところが、その後各種のクロマトグラフィーが著しく発達したこと、機器分析法が進歩した結果、フェロモンのような微量な生理活性物質の単離と構造決定にも従来のような多数な個体を必ずしも必要としなくなった。

更に、いろいろな昆虫の性フェロモンの化学構造が分かってくると、種間での共通性が論じられるようになってくる。例えば鱗翅目ガの性フェロモンは炭素数 12~16 の直鎖アルコールの酢酸エステルで、分子中に 1, 2 個の不飽和結合をもつ化合物であることが多い。また、分類学的に近縁の種は性フェロモンが共通であったり、近縁化合物であることが多い。このような経験的な事実から逆に、推定化合物及びその近縁化合物を合成し、野外及び室内での生物検定で生理活性を調べて性フェロモンの構造を定めることも行われている。また、触角電図 electroantennogram も構造の推定に併用される。しかし、このような方法は間接的であり、あくまでも構造の推定であるから、天然物との比較検討が必要である。しかし、この比較検討には、必ずしも性フェロモンの単離を必要としない。

II フェロモンの種特異性

カイコの性フェロモンの化学構造が決定された時、我々は、自然界で雌雄が間違えずに見付け合い、交尾を行って子孫を残す仕組みとして、性フェロモンの果たす役割と、種による化学構造の違いが、配偶者の認知にちょうど鍵と鍵穴との関係のような形で役立っているという BUTENANDT らの考えに感心した。事実その後構造決定された数種の昆虫の性フェロモンは種によって異なり、BUTENANDT らの考えを裏書きするように思えた。ところが、異種の昆虫が同一化合物を性フェロモンとして共有する例が現れてきた。その例として、桑原ら (1971) のマダラメイガ亜科 Phycitinae の性フェロモンの研究は重要である。すなわち、スジマダラメイガ、ノシマダラメイガ *Plodia interpunctella*、スジコナマダラメイガ *Anagasta kuehniella* はいずれもコスモポリタンな貯穀害虫であるが、単離された性フェロモンはいずれも *cis*-9, *trans*-12-tetradecadienyl acetate であった。合成した本化合物はいずれの種の雄に対しても性的な興奮をおこさせ誘引させる。また、それぞれの雌からの塩化メチレン抽出物はそれぞれの種の雄ばかりでなく、他種の雄に対しても、性的興奮と誘引作用を示す。したがって性的な混乱がおこってもよさそうに思えるが、自然状態では同種の雌雄間で配偶行動が行われている。このことは単に 1 種の性フェロモンだけで配偶行動が完成されるものでないことを物語っている。

ROELOFS ら (1968) は 2 種のハマキガの雌が同一フェロモンを分泌し、野外に仕掛けた性フェロモンのトラップにも両種の雄が誘殺されているのを観察している。ところが自然界では性的な混乱のおきないのは、雌が第 2 次物質を分泌しているのであろうと推論した。性フェロモンが複数の化合物からなり、しかも活性を表すにはそれらが一定の比をもつことが必要であることを最初に指摘したのは玉木ら (1971) である。彼らはチャノココクモンハマキ *Adoxophyes fasciata* の性フェロモンを単離し、構造を研究した結果、*cis*-9-tetradecenyl acetate (*cis*-9-TDA) と *cis*-11-tetradecenyl acetate (*cis*-11-TDA) の 2 化合物で、しかも *cis*-9-TDA と *cis*-11-TDA とが 4 : 1 に混合した場合に最も活性が強かった。更に彼らはリンゴココクモンハマキ *A. orana* の性フェロモンも *cis*-9-TDA と *cis*-11-TDA とからなり、その活性は前者と後者とが 9 : 1 の時に最も強い活性を示した。

玉木らの研究は性フェロモンが複数よりなり、しかもそれらが一定の混合比であることが活性発現に必要であることを最初に示したもので高く評価されてよい。以来昆虫の性フェロモンは複数化合物からなる例が次々と報告され、その混合比が示されるようになった。数多い昆虫の種がそれぞれ異なった化合物を性フェロモンとして、性的な隔離をしていると考えるより、複数化合物を性フェロモンとして、それらの種類と混合比によって性的隔離が果たされていると考えるほうが、自然界での現象を説明するにはるかに都合がよい。

更に、性フェロモンを害虫防除に応用する方法として、野外に性フェロモンを施用して、雄の雌に対する定位を攪乱する方法がある。複数化合物の一定比が配偶行動の解発に必要ということであれば、その比を人為的に変えて雄の雌への定位を不可能にすることが考えられる。複数化合物の中で、合成容易で安定、安価なものをほ場に施用すれば、雌から発散される性フェロモンの混合比が変えられ、配偶行動が阻害される可能性がある。新しい性フェロモンの害虫防除への応用法であろう。

III 有効距離

性フェロモンが遠く離れた雄を誘引するらしいことを最初に示したのは、ファーブルの「昆虫記」に出てくるオオクジャクガでの観察である。羽化した雌を金網かごに入れて部屋においたところ、夜9時ごろに雄がどこからとなく集まってきた。周囲に生息していないことから数kmの距離を飛んで来たと考えた。実験的に処女雌あるいはその抽出物でトラップをつくり、雄をある距離から放って、フェロモンの有効距離を算出しようという試みはいろいろの昆虫でなされた。例えばマイマイガ *Portheia dispar* の場合は COLLINS and POTTS (1932) によれば 2.3 マイル(約 3.7km)を記録している。トラップに入ったということは事実であるが、2.3 マイルから性フェロモンに定位して飛んできたという証拠はない。

性フェロモンが数kmも離れた雄を誘引するという物語は、前述のような過去における観察と、性フェロモンが実際に単離され、構造決定されてから生物検定すると、 $10^{-12}\mu\text{g}$ というような超微量で性行動を解発するという事実から、神話化された傾向がある。

日高 (1972) はアメリカシロヒトリ *Hyphantria cunea* の配偶行動を詳しく調べ、①嗅覚、②視覚、③接触化学的の一連の刺激が配偶行動の解発に必要であることを認め、嗅覚刺激としての性フェロモンはせいぜい 3m くらいしか有効距離がないことを指摘した。雄は最初ランダムに飛んでおり、性フェロモンの有効距離に入ると、飛

び方が変わり、探索飛しようとなりフェロモンの濃度勾配に導かれてジグザグに雌に近づく。その際にはアメリカシロヒトリの白色という視覚も関与するという。

性フェロモンの有効距離は、分泌量、雄の閾値、気温・風などの気象条件によって左右されるから、決定的な数字で示すことは難しい。しかし、数km離れた雌をフェロモンをたよりに雄が飛んでくるということは常識的に考えにくい。最近の研究結果は性フェロモンの有効距離はそれほど遠いものではないことを示し、日高の結果を支持するものが多い。フェロモンの神話の一つは崩れたが、フェロモンの生理活性が弱いということにはならない。

IV 接触による性フェロモン

触角で直接触って感受する性フェロモンがある。最初に詳しく研究されたのはマダラチョウ類で、雄の尾端にある1対の毛束 *hairpencil* にこのような性フェロモンが分泌され、それを雌の触角にこすりつけることによって配偶行動が解発される。このフェロモンは EISNER, MEINWALD ら (1969) によって解明された。

チャバネゴキブリ *Blattella germanica* の雌の体表ワックスにもこのようなフェロモンが含まれ、雄は触角でこれを感じ、一連の配偶行動が行われる。このフェロモンは西田ら (1975, 1976) によって 3,11-dimethyl-2-nonacosanone と 29-hydroxy-3,11-dimethyl-2-nonacosanone であることが明らかにされた。

配偶行動は昆虫にとっても極めて複雑な行動であり、単一な刺激だけで完成されると考えるより、いろいろな刺激が一定の順序で感受されて完成するというのが真実の姿であろう。これからもこのような性フェロモンが数多く報告される可能性がある。

おわりに

フェロモンの研究が本格化してまだ歴史が浅いが、その間の急激な展開には目をみはるものがある。化学生態学 *chemical ecology* という言葉も異様に感じなくなったし、この方面の国際的な雑誌 *Journal of Chemical Ecology* が昨年刊行され、毎号性フェロモンに関する論文でにぎわっている。また、性フェロモンを害虫防除に応用しようという試みも既に始まっている。しかし、性フェロモンの生合成や分泌あるいは受容など基礎的な問題はまだまだほとんど分かっていないと言えよう。いたずらに応用をあせり、簡単に結論を導くことは、いましめなければならない。専門分野の違った多くの研究者の関心と協力を今後一層期待したい。

昆虫性フェロモンの化学的研究の諸問題

京都大学農学部農薬研究施設 ふか 深 み 海 ひろし 浩

はじめに

“フェロモン”について今更説明を繰り返す必要もないほど、フェロモンという物質は最近多くの人々になじみ深いものとなってきた。特に、昆虫の性フェロモンがそうである。何と言っても、性フェロモンの極微量を雄成虫の前に差し出したときの即座に雄を興奮させ交尾行動をとらせる劇的な作用を見れば、説明抜きで、ただ視覚に訴えるだけで、誰にでも作用の本質を理解させる点に、昆虫の性フェロモンが有名になった理由の一つがあろう。ましてや、昆虫の世界は我々人間にとって進化の過程の正反対側の極点にある神話的な存在と見える場面が多く、昆虫の本能的な行動はディズニイの映画を見るまでもなく種々の点で合目的性をそなえながらも神秘性に満ちた興味の対象であり、今も昔も子供のころの昆虫採集が自然科学へのアプローチの第一歩である例が多いことをみても、昆虫界への人間の関心の深さが分かるというものである。このように、程度の差こそあれ、昆虫の行動に神秘性を垣間見る一般的な認識の背景があるところへ、昆虫の雌雄の愛の囁きには、実は、物質がその役目を果たしている例があると分かったときの驚きは強烈であった。昆虫の性フェロモンに大きな関心が寄せられるのも当然だろう。

また、農業と害虫の争いの永い歴史の中で、強力な合成殺虫剤の発明は画期的であった。しかし、その後、種種の経験から合成殺虫剤一辺倒の害虫防除への反省が台頭してきた時期に、昆虫性フェロモンの化学的研究の最初の例が報告されたタイミングの良さは、性フェロモンの害虫防除への利用という夢を含んで、いよいよその名を広めたといえよう。

しかし、昆虫界の示す神秘性のドグマ的認識と害虫防除への夢とから、昆虫の性フェロモンが種々の面で過大評価を受けていることも否めない。この点については、この特集で各執筆者が触れられることもあろうから、ここでは、昆虫性フェロモンの化学的研究をふりかえて、2、3の問題点に触れてみたい。

昆虫の性フェロモンが単離され化学構造が決定された最初の例は1959年 BUTENANDT らにより報告されたカイコガの Bombykol である¹⁾。1930年代の後半から開

始されたこの研究は、世界大戦により中断を余儀なくされた不幸もさしはさんで、20年もの年月を費した。しかし、ガスクロマトグラフ法をはじめとする分離手段も今日ほど発展せず、構造研究の物理化学的機器分析も紫外や赤外分光器に限られていた時代に遂行されたことを考えれば、実に美事な成果と賞賛せざるを得ない。この成果はまさにコロンブスの卵のたとえどおり以後今日までの間に、分離技術と機器分析の発達と相まって、主として鱗翅目昆虫の性フェロモンが次々と明らかにされてきた。これらを一覧表にしてまとめた成書や総説が既に存在するので、すべてをまとめて呈示することはここでは割愛することにした。

Bombykol の単離は昆虫の性フェロモンに二つの大きな特徴があることを示唆し、その後、確実な論拠なしに、その特徴が相当期間信じ続けられたふしがある。特徴の一つは性フェロモンの作用の種特異性が極めて高く、極端な表現をすれば、雌雄の交信に性フェロモンが関与している昆虫の種では、1種に対して特定の一つの化合物が対応すると考えられた。言い換えれば、新しく性フェロモンの存在が認められた種からは、必ず新しい化合物が性フェロモンとして単離されると考えられた。第2の特徴として、昆虫の性フェロモンの作用は驚くべきほど強力である。事実、Bombykol は1cc中にわずかに数百の分子が含有される空気の流れがあれば、十分カイコの雄は感応する。これほど低濃度で生物活性を発現する化合物はまずないとみてよい。この点はその後研究された鱗翅目昆虫の性フェロモンのすべてに見ることのできる特徴のようである。ただ、問題は、であるが故に、非常に遠方にいる雄までも誘引し、その範囲は数kmにまで及ぶと言われたりしたことにある。性フェロモンによる雄の誘引に有効な範囲がどの程度なのかについて確実な話をすることができないのが現状である。低濃度で効力を発現することと雄を誘引する有効範囲とは別の問題と考えたほうが適当であるようだ。

話が少々横道にそれたが、以下、昆虫の性フェロモンの二つの特徴から由来する化学研究の問題を中心に話を進めることとする。話の焦点が錯綜するのを避けるため、特に断らない限り、鱗翅目昆虫の雌成虫が分泌する性フェロモンのみを対象として取り上げた。

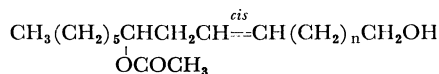
I 単離操作上の問題点

昆虫の性フェロモンを精製単離し化学構造を決める方法や技術は何も独特のものではなく、天然物化学の手法そのまま、とりたてて論議することもないといえ、それまでの話となってしまう。ただ一つ、往々にして誤りのもとになる次のような点を考慮に入れて仕事を進めなければならない。

昆虫の性フェロモンは非常に少量で活性を即座に発現する。したがって、その生物検定法は比較的簡単な方法で感度よく、しかも即座に活性部を識別できるのが一般である。複雑な組成の粗抽出物から、たとえ含量が途方もなく少ない場合ですら、性フェロモンを追跡してゆくことができる。分離精製の過程を簡便に着実に、そして貴重なサンプルのほんの一部を使うだけでモニターしてゆくことができることは、むしろ他の材料の場合の天然物化学よりもやさしい対象と考えてもよい。しかし、その反面、雌成虫体内の性フェロモン含量は極端にわずかな例が多い。性フェロモン抽出材量としての処女雌が無尽蔵に手に入る場合ならいざ知らず、常に不満足に近い数の虫体をやむを得ず材料として仕事を開始しなければならないのが通常である。精製を進めて行って、ガスクロマトグラフ法とか薄層クロマトグラフ法とかいろいろな分析方法で単一成分からなると考えてよいフラクションに活性があったとしても、それを安易に性フェロモンそのものと解釈して、とんだ間違いを起こす危険性があることを常に注意している必要がある。筆者の研究室で、性フェロモン活性を有するフラクションを単離し、質量分析、またあるときは、NMR 分析してよくよく考えてみればジアルキルフタレートであったという恥ずかしい事実を一再ならず経験したというのが正直な告白である。含量の少ない目的物を追っている場合、いつどこからともなく、プラスチックの可塑剤であるジアルキルフタレートが入ってきて、性フェロモンという微量で活性を発揮するものと一緒になって、このような間違いをひき起こしたのであろう。ジアルキルフタレートのような場合には、一見しておかしいと勘づくからまだ救いがあるようなものの、まがいものとはちょっと気づかないような場合には、そのまま性フェロモンの単離として世に出る破目になる。既によく知られている例ではあるが、恐らくこのようなことから起きた間違いであろうと見られるものを、2, 3 あげてみよう。

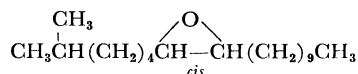
マイマイガ *Portheiria dispar* の性フェロモンの化学的研究の歴史は古い。アメリカで進められたこの研究の経緯に触れることは割愛するとして、JACOBSON らが gyptol

の名でこの性フェロモンの報告をしたのは 1960 年のことである²⁾。カイコの Bombykol とほぼ時を同じくして発表されたものであり、しかも、カイコと違って材料は野外から集めなければならない大変苦勞の多い仕事であった上に、対象が問題の森林害虫であったことと相まって、大きな反響を呼んだ業績であった。その当時、gyptol (Ia) とその同族体である (+)-*cis*-gyplure (Ib) が合成



$$\text{Ia} : n=5, \text{Ib} : n=7$$

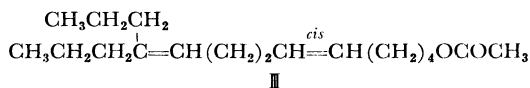
され、ともにマイマイガ雄に対して強い活性を示すことが報告されている³⁾。合成 gyplure はその後アメリカでマイマイガの発生予察に現地で使用されていたという。ところが、10 年ばかり経過して、実は、gyptol には性フェロモン活性がなく、構造が似ても似つかない *disparlure* (II) が真の性フェロモンと結論された⁴⁾。合成さ



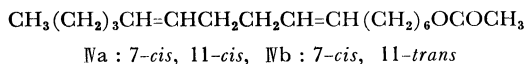
II

れた gyptol や gyplure が性フェロモン活性を示したということは奇々怪々という以外に説明の下しようがないが、gyptol について犯した誤りは性フェロモンの作用発現が非常に少量で十分である事実に基づくものと想像される。もちろん、gyptol の場合、無意識的な不注意によるものか否かは判断のわくをはるかに超えた話である。

全く同様の話がワタアカミムシ *Pectinophora gossypiella* の例でも見られる。これも JACOBSON のグループが性フェロモンを単離したとして、propylure (III) とい



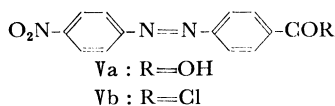
う天然物としては *n*-プロピル側鎖を有する最初の珍しい構造を提出した⁵⁾。その後 7 年経た 1973 年ワタアカミムシの性フェロモンは Ia と Ib の混合物であること



が明かにされた⁶⁾。どこで間違いが生じたのかは明確でないにしても、微量の性フェロモンが混在する限り、たとえ最近の分析手段で検出できなくとも、生物検定では間違いなくその存在を検出してくるところに間違いの原点があるとみて差し支えないだろう。

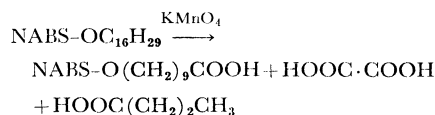
以上のような誤りを犯す可能性は常につきまとうものと理解しなければならない。この意味で、Bombykol の

例はそれが性フェロモン単離の最初の研究であったばかりでなく、実に細かい点にまで注意を配ってあることに感心させられる。種々の予備実験からカイコの性フェロモンはアルコールであることが判明したので、4'-ニトロアゾベンゼン-4-カルボン酸 (Va) (以下 NABS と略す) のエステルにして精製操作の完璧を期した。NABS クロリド (Vb) は Bombykol 単離の目的のために工夫され



たアルコール試薬で、その合成に少々難点があるが、現在では E. Merk 社から市販されており、1g 7千円たらずの値段で入手できる優れた試薬である。まず、一般の酸クロリドが水分に不安定で使用直前に調製しなければならない不便があるのに比較して、NABS クロリドは水分に相当安定で、デシケーター中で長期保存に耐え、必要ときにすぐ使用できる便利さがある。また、mp. 163° の結晶であり、再結晶によって精製可能で、試薬として非常に使いやすい。NABS のアルコール類とのエステルは結晶性が良く、淡い黄色を呈するのが普通で、クロマトグラフ法の本来の名のとおり肉眼でクロマトグラム上の挙動を追うことができる。しかも、そのエステルは希薄なアルカリと室温に放置するだけという温和な加水分解でもとのアルコールが再生し異性化などの懸念がまずない。このような特徴が Bombykol の単離に利用された。もちろん、Bombykol の NABS とのエステルには性フェロモンとしての活性はないが、クロマトグラフ法や再結晶で最終段階の精製が行われた。このように一般の有機化学の分離精製技術と変わりのない手法で分画された各フラクションのそれぞれの一部分を加水分解し、直ちに、カイコの雄成虫で活性の検定をすることを併用して Bombykol の単離が完成した。つまり、二重のチェックを経たことにもなり、先に述べたような誤りがまずないと考えられる。このようにして単離された Bombykol の NABS エステルは mp. 95~96° の結晶で、50万の雌成虫から出発して最後には 12mg であった。

Bombykol の NABS エステルは単離に際して便利であったばかりでなく、構造決定にも大変役に立っている。当時まだ質量分析計が今日ほどの発達をみない時代なので、Bombykol の分子式は NABS エステルの UV-吸収の吸光度と元素分析の結果とによって、初めて $\text{C}_{16}\text{H}_{30}\text{O}$ と推定された。次に、NABS エステルを KMnO_4 で酸化して炭素-炭素二重結合で切断し、次の式のように C_{10} -NABS エステルとシュウ酸と酪酸を与える事実から、二



重結合の幾何構造はさておき、一義的に Bombykol の構造が結論された。

その後の性フェロモンの研究はいずれも出発材料の雌成虫の数に制限され、極めて微量のサンプルで化学的研究を進めざるを得ない例が多い。何度も強調しているように、昆虫の性フェロモンの活性は極微量で発揮される。この活性だけを指標に話を進めたときには先に述べたような誤りの懸念もある。そこで、性フェロモン活性とは無関係で、性フェロモンの化学構造上の特徴に基づいていま一つの指標を組み入れる工夫がなされている例がある。Bombykol の NABS エステルも典型的な例だが、もう一つの例はノシメマダラメイガ (*Plodia interpunctella*) の性フェロモンの研究に際して採られた ^{14}C を導入したラベル法である⁷⁾。その性フェロモンはアセテートであることがあらかじめ判明していたので、 LiAlH_4 で還元して得たアルコールに $1-^{14}\text{C}$ -無水酢酸で再びアセテートとしてラベルし、その後の取り扱いには性フェロモン活性の検定と放射能の測定とを併用して巧みに化学的研究を進めた例もある。このような工夫が今後も種々検討されるものと期待される。

今までの話は性フェロモンが一つの化合物から構成されている時の話である。いろいろな研究対象が取り上げられてきた結果として、今日では二つ以上の化合物が組み合わさって、初めて、性フェロモン活性を発現する例のほうにむしる普遍的で、多成分の構成比率の差が性フェロモンの作用の種特異性の発現に関与しており、必ずしも、昆虫の種に対応してある特定の一つの化合物が性フェロモンとして存在するという考え方は正しくはないと考えられるようになった。このように二つの成分が組み合わさって性フェロモン活性を発現することをはっきりと示した最初の例は農技研の湯嶋・玉木らによるコカクモンハマキの研究結果であった⁸⁾。この発見は、タンパク質が 20 数種のアミノ酸の配列順序の組み合わせで無限の種類のものでき上がることや 4 種の塩基の組み合わせで無数の核酸が可能であるのと同じように、性フェロモンの種特異性も何種類かの化合物の組み合わせによって発現し、無数の昆虫の種に対応することを示唆すると考えられる。一見複雑な自然も単純な因子の組み合わせの発現様式である場合が多いことと考え併せて大変興味深い。一方、性フェロモンを単離する技術上の観点に立てば、化合物の複合系が性フェロモンである場合に

は仕事が大変やっかいになってくることが予想される。性フェロモンを構成している化合物の一つ一つが多少とも性フェロモン活性を示し、相互に相乗的効果を示す場合はまだしも、個々の化合物単独では性フェロモン活性を示さないときには、性フェロモンの単離は複雑な過程を経なければならぬであろう。そのような事情もあって、現在までに知られている性フェロモンの複合系は2種の化合物から構成されている例が幾つかあるだけで、3種以上の構成成分から成り立っている例のはっきりしたものはまだ分かっていない。ただ一つ、ハマキガに属する the oak leaf roller (*Archips semifervans*) の性フェロモンは $n-C_{14}H_{27}-O-COCH_3$ の一般式を有し、二重結合が2位から12位のそれぞれに位置するものの混合系だとする説⁹⁾と、そうではなくて、二重結合の位置が11位にあるものだけで、ただそのトランス体とシス体が2:1に混合している系だとする説¹⁰⁾が目下論争の中心である¹¹⁾。

最近の質量分析計の進歩は目覚ましいものがあり、ガスクロマトグラフと直結された、いわゆる GC-MS の性能は飛躍的に向上し、コンピューターとの併用によって、性フェロモンの化学的研究の様相は急激に変容しつつある。GC-MS 法を駆使した場合、数 μg という試料、しかも、必ずしも純品でなくてよい場合もあり、ごくわずかの試料で十分その構造まで推論できるようになってきた。したがって、純粋に単一化合物として取り出すという古典的な意味での単離を完成しなくても話を進めうる場合があり、今後、性フェロモンの単離操作は量的な意味においても質的な意味においても随分従来の考え方から変化するものと予測される。

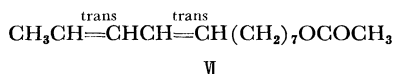
II 構造決定の諸問題

鱗翅目昆虫の性フェロモンで現在までに化学構造が明らかにされた30種ばかりの化合物のうち、disparlure やその他数例を除いた残りのものはすべて、不飽和直鎖脂肪族の第一級アルコールか、そのアセテートである。それらについて古典的な手法で構造を決定した過程はいずれも本質的には Bombykol のところで述べた内容とほぼ同じである。ただ、過マンガン酸酸化の代わりに、オゾン酸化が二重結合の切断にしばしば用いられる点を指摘しておくべきであろう。

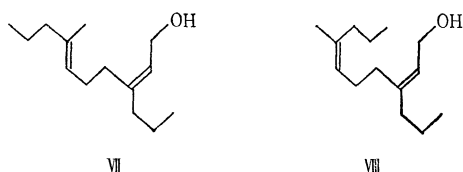
既に何度も触れたとおり、性フェロモン含量が少ないために、古典的な意味での単離をまたずに、より簡便に構造を推定しようとする工夫がなされている。鱗翅目昆虫の性フェロモンが大半不飽和直鎖脂肪族アルコールの誘導体である事実を前提として、まず雌からの粗抽出物

の GC-分取から、どのフラクションに活性が存在するかを知り、その保持時間 R_t の値から構成炭素鎖の長さを推定する。この際、活性の検出に雄成虫を供試する生物検定の代わりにエレクトロアンテノグラム (EAG) を活用している例が多い。次に、相当する炭素鎖をもち二重結合の位置がいろいろ違ったところにある合成標品の R_t と比較して二重結合の位置を推定する。該当する合成標品を室内生物検定、もしくは EAG でシス・トランスのいずれの異性体かより活性かを見て、最終的に性フェロモンの構造を推定する。野外での雄成虫の捕獲テストを行ってより確実な証拠としている例が多い。

上記のような簡便な方法は、古典的な単離を経由しないで、結論にまで到達できる場合が多く、より少ない材料で性フェロモンの化学が分かる。その反面、もし不飽和直鎖脂肪族アルコール誘導体であるという前提が成立しないときには結論は混乱に陥らざるを得ない。結果的にはこの方法で出した結論が正しかったということに到着したが、話の途中で混乱に陥った例をあげてみよう。リンゴの重要害虫のコドリンガ (*Laspeyresia pomonella*) の性フェロモンは上記の簡便法で VII の構造をもつと発表



された¹²⁾。しかし、その後、他の人たちが、コドリンガ性フェロモンの古典的な意味での単離を行い、VII の構造を発表した¹³⁾。そして、その単離に際して VII に相当する化合物は見いだせなかったとしている。だが、この VII は生きた雌の示す活性と比較して、その含量に相当する量で約 1/10 の活性を示したのに過ぎず、コドリンガの性フェロモンは VII 以外にも必要成分がある複合系だろうと推測した。ついでながら、後日、VII と発表した構造は幾何異性体の合成研究から VIII に訂正されていることも付記



しておく¹⁴⁾。このように、不飽和直鎖脂肪族アルコールと前提して進められた結論と古典的単離を経て出された結論とが食い違ってしまった。結果は、第三者がガスクロマトグラフ法を用いてコドリンガ雌の粗抽出物中に VII が存在することを実証し¹⁵⁾、野外での誘引試験の結果とを総合して VII がコドリンガの性フェロモンであるとされ

ている。

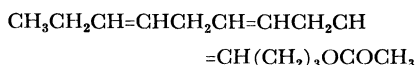
最後に最近筆者のところで構造を決定したジャガイモガ (*Phthorimaea operculella*) の性フェロモンの研究過程¹⁶⁾の概要を掲げて、性フェロモンの構造決定の問題点を論ずる代わりとしたい。このナス科作物の害虫は戦後我が国にオーストラリアから侵入してきたものとされている。研究材料は神戸植物防疫所が大量飼育して供給して下さった。40万頭の未交尾雌から抽出精製を經過して、最後に、室内生物試験で 10^{-10} mg/ml の濃度で活性を示す油状物数十 μg を得たにすぎない。この GC 分析はまだ不純物を幾つか含んでいることを示し、古典的な意味で決して性フェロモンを単離したとは言えない。しかし、これ以上の精製操作を繰り返すことは、あまりにも少量の故に取り扱いが難しいことと同時に、非科学的な表現ながら先に進む勇気が起こらず、とりあえず、この段階で一定量のヘキサンに溶解して保存し、種々の実験材料とした。GC-MS のデータは炭素数 13 の二重結合 3 個のアルコールアセテートであることを示唆した。しかし、奇数炭素数の性フェロモンは非常に珍しい例である上に、二重結合が 3 個も存在するに至っては初めてのケースであり、結論を下すに慎重に慎重を重ねざるを得なかった。この一部をとって、水素添加した生成物やその他の標準試料の GC 分析結果の比較は間違いなくジャガイモガの性フェロモンはトリデカトリエンルアセテート ($\text{C}_{13}\text{H}_{21}\cdot\text{O}\cdot\text{COCH}_3$) であることを示している。残る問題はそれら三つの二重結合の位置と幾何構造に関するものだけとなった。このころ、アメリカの Roelofs らがジャガイモガの性フェロモンは *trans*-4, *cis*-7-tridecadienyl acetate であると発表した¹⁷⁾。筆者らのデータを詳しく再検討したが、そのような二重結合 2 個の化合物に該当するものは見当たらないし、先に述べた活性の強いフラクションはどう見ても二重結合が 3 個存在する化合物であった。筆者らは量の少ない試量でどのようにして二重結合の位置を決定するかをモデル化合物を使って種々工夫を凝らした。まず、先の数十 μg の試料は薄層クロマトグラムで活性部を掻き取る通常の方法を 1 度適用すれば、ほぼ単一物といえるところまで精製できることを知った。この精製を終わった段階で GC 上のピークの大きさからその量は約 7 μg と推定した。このうちの約 1 μg をそのままオゾン酸化して得られるアルデヒド類を GC 及び GC-MS で検討すると 4-アセトキシブタナール ($\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}$) が満足すべき量で生成しているのでもとの性フェロモンにはアセトキシの結合している炭素から数えて 4 番目の炭素に一つの二重結合が存在することとなる。

他の 2 個の二重結合の位置は性フェロモンに直接行ったオゾン酸化の結果からは何も情報を得ることはできなかった。そこで、考えを新たにして、3 個ある二重結合を還元して単結合にする方法のなかで、どの二重結合にもほぼ等しい反応速度で還元が進行し、しかも、反応の進み方が適度にゆるやかであって、途中で反応を止めると、それぞれの二重結合が適当に未反応のまま残っているような方法がないのかと探してみた。うまい具合に、ヒドラジンと過酸化水素で還元する方法¹⁸⁾はビニル型の末端二重結合の場合だけを例外として、その他の環境の二重結合は、それがトランスであれ、シスであれ、ほぼ同じ速度で進行し、二重結合の位置の転移や幾何構造の異性化も伴わない特徴を有する方法であることを文献から知り得た。モデル化合物でこの方法を試みた結果、適当な時間で反応を打ち切ると、適当に二重結合が残っている。いま仮に、二重結合が三つある化合物にこの方法を行い、適当な時に反応を打ち切ると、二重結合が三つともそのまま残っている未反応物及び二重結合がすべて還元された飽和化合物がもちろん幾分か存在するけれども、相当量が二重結合 1 個あるいは 2 個残っているものの混合物として得られる。しかも、残っている二重結合の位置は出発物の 3 個の二重結合の位置のそれぞれに相当するもののほぼ等量混合物であることが期待される。これを混合物のままオゾン酸化して二重結合の位置で切断して、生成した各種のアルデヒドの解析ができれば、もとの化合物の三つの二重結合の位置を決めることができるはずである。そこで、ジャガイモガの性フェロモン (約 2 μg) にこの部分還元法を適用した。反応を途中で打ち切って、直ちにオゾン酸化をし、 $\text{AcO}(\text{CH}_2)_n\text{CHO}$ の一般式で表される化合物を追跡した。しかし、生成物の量が少ないので、いわゆるマスクロマトグラフ法に頼らざるを得なかった。

ここで、マスクロマトグラフ法の概略を説明しておくと、ガスクロマトグラフと直結した質量分析計に試料を入れ、まずガスクロマトグラフ法で試料を分離し、順次質量分析計に入ってくる各フラクションのマススペクトルを数秒ずつの間隔でコンピューターに記憶させる。言い換えれば、ガスクロマトグラフ法で分離したフラクションの記録計として質量分析計を用いていることになる。ついで、いま問題としている化合物のマススペクトル上のできるだけ相対強度が大きくて、しかもその化合物に特徴的なフラグメントイオンピークを数種選び出し、それらの質量数を指標として、コンピューターに記憶させた各フラクションのマススペクトルのうち、どのフラクションにそれら数種の特徴的な質量数のピークが同時に

しかももとのスペクトルとほぼ同じ相対強度で示されているかを検索していく方法である。

ジャガイモガ性フェロモンの部分還元物のオゾン酸化生成物のマスキロマトグラフ法による分析の結果、一般式 $\text{AcO}(\text{CH}_2)_n\text{CHO}$ で表される化合物は3種生成しており、 $n=3, 6, 9$ の化合物であった。したがって、もとの性フェロモンの構造はⅡで示される。それぞれの二



Ⅱ

重結合の幾何構造は合成によって確かめているところである。いずれにしても、鱗翅目昆虫の性フェロモンとして二重結合が三つもあり、炭素鎖が奇数であるのは珍しい存在といえる。

先に述べたように、ROELOFSらはジャガイモガの性フェロモンは二重結合が2個と発表している。筆者らの材料としたガは専門家によって間違いなくジャガイモガと同定されている。オーストラリア原産とアメリカ産とでは性フェロモンそのものが異なるのであろうか、それとも、両者同じ化合物を扱いながら異なる構造式に到達したのだろうか。この問題の解決は将来に持ち越されている。

おわりに

鱗翅目昆虫の性フェロモンの化学についての問題の概略を画いたが、記述のなかに正確さを欠く表現が多く出てきたことは、できるだけ読みやすくしたいと願う心からあえて犯したところであり、もっと正確に、もっと全般的に知ろうとする方々は適当な成書なり総説なりを御参考にしていただくよう願います。

このほかにも化学的な面で重要な問題、例えば、立体化学や絶対構造の問題や合成化学の問題など、取り上げなければならないのであるが、他の機会に譲りたい。

人事消息

伊藤式郎氏(中国四国農政局生産流通部農産普及課植物防疫係長)は農蚕園芸局植物防疫課農薬班生産係長に
松山良三氏(東海農政局次長)は同上局普及部長に
前田耕一氏(農蚕園芸局普及部長)は東北農政局長に
須賀博氏(東北農政局長)は退職
高須徹明氏(農林経済局国際部長)は東海農政局長に
白根亨氏(畜産局家畜生産課長)は同上局次長に
増満二郎氏(東海農政局長)は退職
河内清氏(畜産局牛乳乳製品課畜産専門指導官)は近畿農政局生産流通部長に
横尾宗敬氏(岡山県農林部次長)は中国四国農政局生産流通部長に

引用文献

- 1) BUTENANDT, A. et al. (1959) : Z. Naturforsch. 146 : 283~284.
- 2) JACOBSON, M. et al. (1960) : Science 132 : 1011~1012.
- 3) ——— (1962) : J. Org. Chem. 27 : 2523~2524.
- 4) BIERL, B. A. et al (1970) : Science 170 : 87~89.
- 5) JONES, W. A. et al. (1966) : ibid. 152 : 1516~1517.
- 6) HUMMEL, H. E. et al. (1973) : ibid. 181 : 873~875.
- 7) DAHM, K. H. et al. (1971) : Life Sci. 10 : 531~539.
- 8) TAMAKI, Y. et al. (1971) : Appl. Entomol. Zool. 6 : 139~141.
- 9) HENDRY, L. B. et al. (1975) : Science 187 : 355~357.
- 10) MILLER, J. R. et al. (1976) : ibid. 192 : 140~143.
- 11) HENDRY, L. B. (1976) : ibid. 192 : 143~145.
- 12) ROELOFS, W. L. et al. (1971) : ibid. 174 : 297~298.
- 13) McDONOUGH, L. M. et al. (1972) : ibid. 177 : 177~178.
- 14) COOKE JR., M. P. (1973) : Tetrahedron Letters 1983~1986.
- 15) BEROZA, M. et al. (1974) : Science 183 : 89~90.
- 16) YAMAOKA, R. et al. (1976) : Agr. Biol. Chem. 41 : No. 10 in press.
- 17) ROELOFS, W. L. et al. (1975) : Life Sci. 17 : 699~705.
- 18) a) AYLWARD, F., SAWISTOWSKA, M. (1962) : Chem. Ind. 1962 : 484~491.
b) PRIVETT, O. S., NICKELL, E. C. (1966) : Lipids 1 : 98~103.
c) SCHOLFIELD, C. R. et al. (1969) : J. Am. Oil Chem. Soc. 46 : 323~326.

坪井福俊氏(横浜植物防疫所業務部国内課輸出係長)は同上部農産普及課植物防疫係長に
新井昭三氏(中国四国農政局生産流通部長)は畜産局衛生課長に
鈴木忠夫氏(野菜試環境部病害第1研究室長)は農業技術研究所病理昆虫部昆虫科昆虫発生予察研究室主任研究官に
西泰道氏(同上部病害第2研究室長)は野菜試験場環境部病害第1研究室長に
竹内昭士郎氏(農事試験環境部病害第2研究室長)は同上部病害第2研究室長に
駒田且氏(野菜試環境部病害第2研究室主任研究官)は農事試験場環境部病害第2研究室長に

昆虫嗅覚における「作用ユニットモデル」

東北大学教養部生物学科 菊池俊英

I 匂い分子の部分構造の重要性

1960年ころ、ドイツの BUTENANDT らによって、カイコガ *Bombyx mori* の性フェロモン Bombykol の構造が決定されて以来、今日までにおびただしい種類の昆虫フェロモンが単離・同定された。フェロモンの特性で最も注目されているのは①ごく微量で活性があること、②化学構造がほんの少し変わっただけで生理活性は千〜百万分の1以下に低下すること、③フェロモンの類似化合物を混合すると失活する、つまりマスキングという現象が広くみられること、④2種類の物質の混合によって初めて活性が現れる、いわゆる相乗作用が一部のフェロモンにあることなどである。

これらの現象のうち、一部の昆虫フェロモンについて、化学構造と生理活性の関係の説明が試みられた。例えば AMOORE ら (1969) は3種類のアリの警報フェロモンと関連物質の形と活性の相関を調べたところ、ケトンを含まない35種類の物質に対する *Iridomyrmex* の反応と分子の形の間に高い相関を見いだした(第1表)。

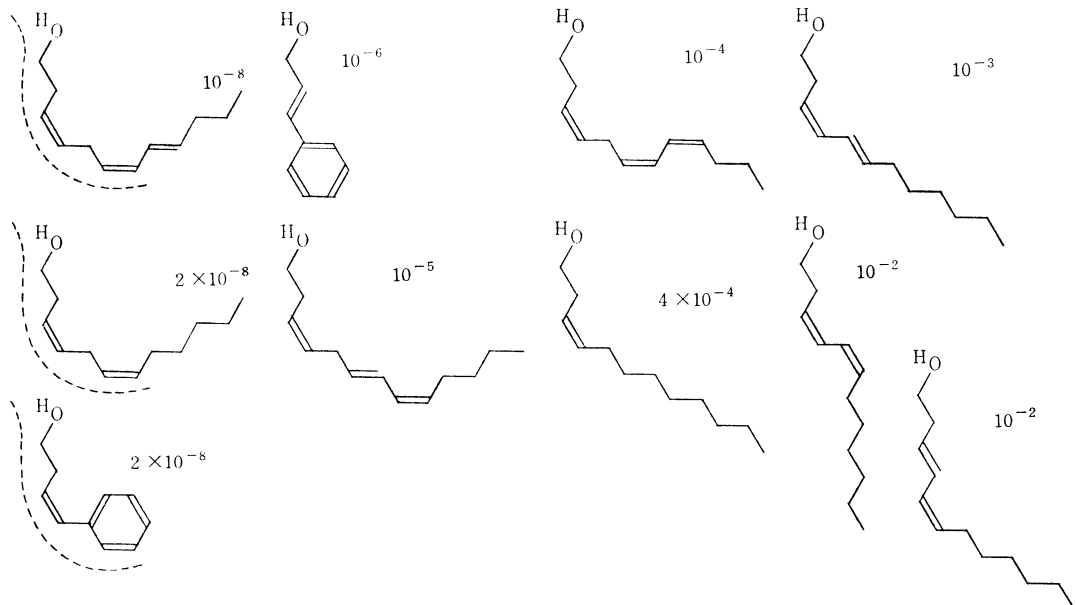
第1表 3種類のアリの警報フェロモン関連物質の形と活性の相関 (AMOORE et al., 1969)

アリ	試供物質	相関係数 (r)
<i>Iridomyrmex pruinosus</i>	ケトン49種類	0.57
	非ケトン35種類	0.81
<i>Pogonomyrmex badius</i>	ケトン100種類	0.47
<i>Atta texana</i>	ケトン34種類	0.32

また、TAI ら (1971) はシロアリ *Reticulotermes* の道しるべフェロモンと関連物質の活性が第1図の点線の構造と関係があることを指摘している。

WRIGHT ら (1972) は第1表の *Iridomyrmex* に対する19種類の物質の特有振動と生理活性の関係を調べたが、2物質に共通振動を見いだすことができず、逆に不活性物質の約20%に特有振動があったため、振動説によって警報フェロモン活性を説明できなかった。

以上の例は「立体化学説」または「振動説」による説明であるが、これらの説によってヒトの嗅覚を説明できるのはごく一部にすぎず、今後根本的な修正が必要であると考えられている。例えば、立体化学説によるヒトの



第1図 シロアリ *Reticulotermes* の道しるべフェロモンと関連物質の活性 (閾値 μg). (TAI et al., 1971)

原香—花香, ハッカ臭, ペパーミント臭, エーテル臭, ムスク香—と分子の形の間の相関は $r=0.5\sim 0.7$ にすぎない。また, 振動説については非常にうまく説明できるのはピターア—モント香ぐらいで, 特に①重水素で置換された物質の匂いは変わらないのに振動は変わること, ②光学異性体, 例えばカルボン, アンフェタミン, ローズオキサイド, リナロールなど匂いはヒトにとって互いに異なり, また, 昆虫でもキクイムシ *Dendroctonus* の集合フェロモン, シロアリ *Atta* の警報フェロモンの光学異性体には活性がないことが振動説の有力な反証となっている*。以上のような分子パラメータに代わって, 最近匂い分子の特定間隔の複数官能基に着目した「作用ユニットモデル」(functional unit model) によって, これまで構造—活性関係が不明であった幾つかの昆虫フェロモンの特性が説明できるようになったので, これらの解析例を紹介し, あわせて将来の問題点についても考えてみたい。

II 「作用ユニットモデル」

昆虫の匂いの識別に特定の間隔の複数の官能基のユニットが重要であるという知見は, 次のようにショウジョウバエの嗅覚突然変異体の誘引性異常の研究から導かれた。いま, 正常のショウジョウバエに R_1, R_2, \dots, R_n の受容サイトがあり, R_1 に対し $a_1, a_1', a_1'', \dots, R_2$ に対し a_2, a_2', a_2'', \dots の匂いが特異的に作用するとする。もしも突然変異によって R_2 に欠損がおこれば, a_2, a_2', a_2'', \dots に対する誘引性に異常がおこる。したがって, a_2, a_2', a_2'', \dots の分子構造を比較することによって R_2 の識別機構を推定できる。すなわち

正常のハエ	異常のハエ
R_1 — a_1, a_1', a_1''	R_1 — a_1, a_1', a_1''
R_2 — a_2, a_2', a_2''	R_2 (欠損)
R_3 — a_3, a_3', a_3''	R_3 — a_3, a_3', a_3''
⋮	⋮

ショウジョウバエから誘起・分離された嗅覚突然変異体 *HPB-1* では誘引性テストが行われた約 100 種類の物質中, 第 2 図のような 14 物質と 4 種類のモノケトンにだけ異常な誘引性を示した(これらの物質を「特異物質」と名づける)。

(1) 特異物質はすべて正常のハエに対する忌避物質で, 変異体は逆に強く誘引される。

(2) 第 2 図の 14 の特異物質の形には共通性がないが, いずれも $-\text{OH}=\text{O}$ (間隔約 3Å) という部分構造

* 立体化学説, 振動説の問題点の詳細については最近の総説(菊池, 1976)を参照されたい。

がある。

(3) 他の特異物質(4種類のモノケトン)のケト型とエノル型2分子によって, 14物質を共通の $-\text{OH}=\text{O}$ ユニットの形成することができる。

(4) $-\text{OH}$ 1~3 個, $=\text{O}$ 1~2 個の物質はすべて特異性がなく, また, 第 2 図の下の物質のように, $-\text{OH}=\text{O}$ 平均間隔 5Å 以上の 12 物質にはすべて特異性がない。

以上の結果から, 欠損サイトはプロトン受容体($=\text{O}$)—プロトン供与体($-\text{OH}$ プロトン)(間隔約 3Å)を識別していたと考えられ, このような部分構造は「作用ユニット」(functional unit)と名づけられた(KIKUCHI, 1973)。

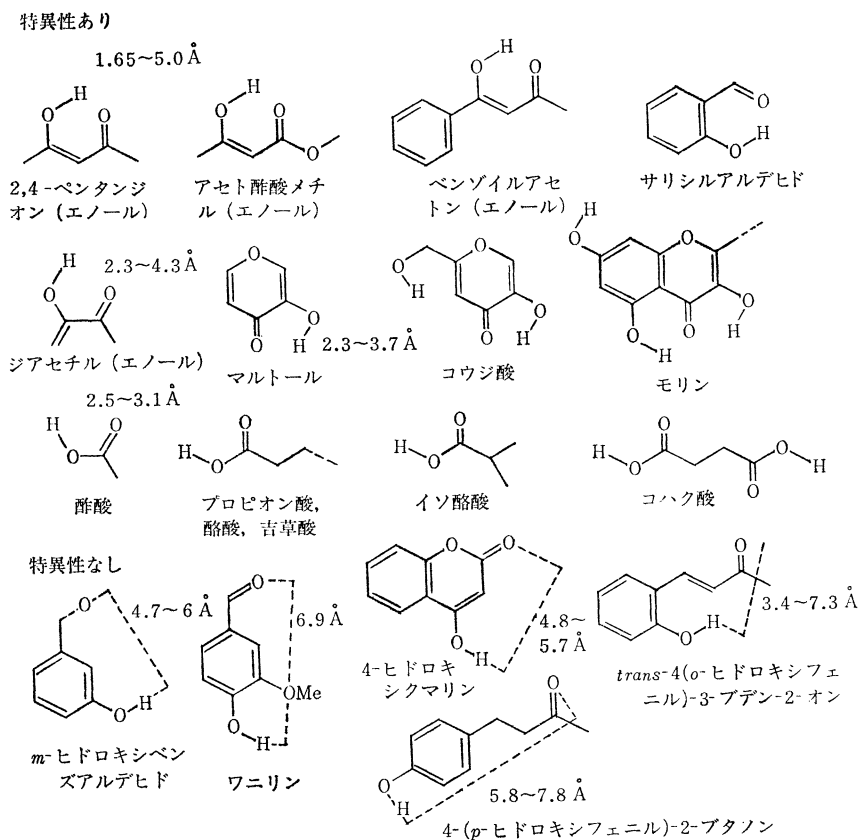
III キクイムシの集合フェロモン

キクイムシ *Ips confusus* の集合フェロモン活性は *ip-senol* (1) + *cis-verbenol* (5) または 1 + *ipsdienol* (2) によってのみ発現し, *trans-verbenol* (6), *verbenone* (7) などには活性がないから, 2 と 5 の間には特異的な共通構造があると考えられる。「作用ユニットモデル」によりピネン環をもった 3 物質(5~7)を比較すると $-\text{OH}$ (p) — $-\text{CH}_3$ (r) のユニットが活性に関係ありそうである。しかし, これだけではリナロール(4)に活性のない理由を説明できない。そこで直鎖のテルペンアルコール(1~4)の酵素変換を仮定すれば *ipsdienol* は第 4 図のように *cis-verbenol* またはリモネンに類似した六員環化合物(2')になる。2' には *cis-verbenol* と全く共通の作用ユニット(p, q, r)があり, このことから *ipsdienol* (2) と *cis-verbenol* (5) の共通作用を説明できる(KIKUCHI & OGURA, 1976)。

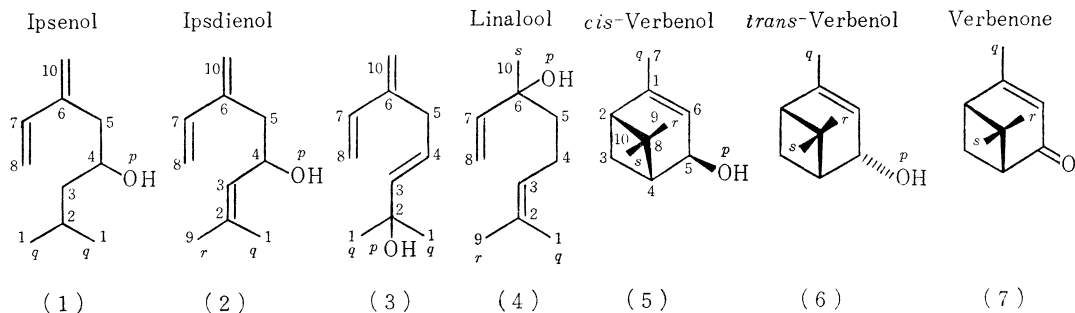
IV ボンビコールのコンホメーション解析

ガの性フェロモンの多くは炭素数 10 数個のエステルまたはアルコールである。したがって, $=\text{O}$ (プロトン受容体), $-\text{OH}$ (プロトン受容体または供与体), π 結合(プロトン受容体), メチル基それぞれの間の距離は次のようにコンホメーション依存する確率的な頻度分布で与えられるにすぎない。したがって, 「作用ユニット」の解析には頻度分布を推定しなければならない。

第 6 図のように, ボンビコール分子はジグザグ状の *anti-anti-anti*... 形(例えば第 6 図の 1, 2, 3, 4, ...) だけでなく, C_5-C_6 が 120° 回転して 2 種類の *gauche* 形をとる。*anti* から *gauche* に変わるためにはブタンなどの例では約 0.5 Kcal のエネルギー差(コンホメーションの自由エネルギー ΔG)があり, $[\text{anti}]/[\text{gauche}] \approx 2$ となる。したがって, 1 個の C-C について $[\text{anti}] : [\text{gauche}] : [\text{gauche}] = 0.7 : 0.15 : 0.15$ とすると, 1 個のコンホー



第2図 キイロショウジョウバエ *Drosophila melanogaster* から誘起・分離された嗅覚突然変異系統 *HPB-1* は約 100 物質中 18 物質に特異的に誘引され、これら 18 物質は =O と -OH からなる共通の作用ユニット (間隔約 3Å) を形成することができる。特異性のない物質の =O-OH 間隔は平均 5Å 以上である。(KIKUCHI, 1973)



第3図 キクイムシ *Ips confusus* の集合フェロモン (1, 2, 5) と関連物質 (YOUNG et al., 1973)

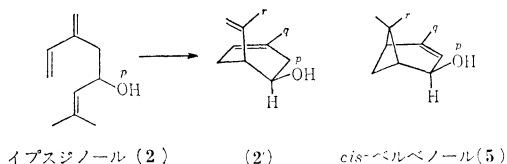
マーに r 個の *gauche* 形を含む確率 Nr は

$$Nr = n - 2C_r \cdot 0.7^{n-2-r} \cdot 0.3^r$$

となる。 n は単結合の総数。 $n-2$ は第5図の H-O-C₁ の2個の単結合を基準にし C₁-C₂ 以後の単結合の回転を考慮しているため、*gauche* 形成に関与する単結合数で

ある。

この手順により、ボンビコールと 11 の関連物質 (第6図参照) のメチル基C原子とπ結合 (二, 三重結合) 間の距離の頻度分布を比較すると、炭素数, 二重結合の様式がわずかに異なるだけで頻度分布のパターンは全く異



第4図 キクイムシ *Ips* 集合フェロモンの構造 (KIKUCHI & OGURA, 1976)
(2より変換された2'には3と共通の作用ユニット(p, q, r)がある)

なってしまう。つまり、二重結合の位置, *cis*, *trans* の違いは作用ユニットの間隔を特徴づけているといえる(第5図)。

ドイツの PRIESNER (1969) は4種類のガ—*Bombyx*, *Endromis*, *Deilephila*, *Agria*—の雄の単一嗅細胞について、ボンピコールなど12物質がある電位変化を測定しているが、第6図のように、カイコガ *Bombyx* に対する生理活性は2種類のメチル基—水酸基ユニットの出現確率で説明できる。同様に他のガについても種々の作用ユニットの出現確率で説明が可能である(第2表)。

以上のような説明が正しいかどうかは、受容サイトについての今後の実証的な研究によっているが、第6図の傾斜から活性発現に必要な最小分子数を算出できる。ボ

ンピコールと他の物質のユニット出現確率(第2表の P_{01} , P_{02} , 閾値を T_1 , T_2 とすれば

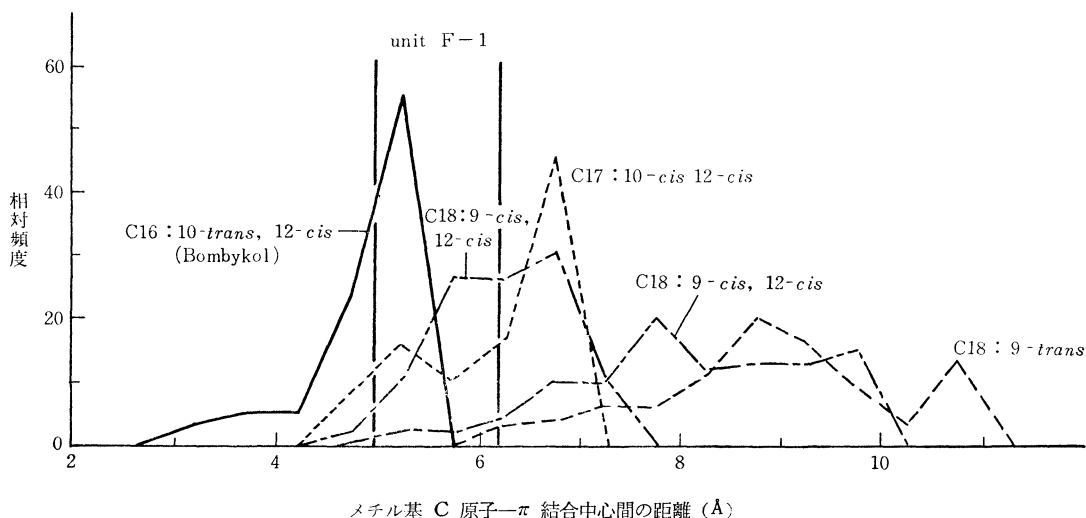
$$P_{01}^n / P_{02}^n = T_1^{-1} / T_2^{-1} \quad (2)$$

より $n \approx 20$ となる。すなわち、1個の嗅細胞にボンピコールの活性分子20個が同時に作用すれば興奮がおこることになる。一方、ドイツの KAISLING ら(1972)は ^3H ボンピコール刺激により、嗅細胞の興奮に必要な分子数を毎秒7個と推定している。活性分子は約40% ($P_0 = 0.4$)であるから活性分子数は約3個となり、式(2)で計算した約20個と比較的近い値となる。

また、作用ユニットが正しいかどうかは *n*-プロパノールをボンピコールに混ぜたとき、ボンピコール活性がマスクされるかどうかで検証できる。なぜなら *n*-プロパノールの -OH プロトン—メチルC間隔はちょうどボンピコールの抑制ユニット a (第2表)に相当するからである。

V フェロモンの有効分子数

以上のような方法によって、他のフェロモンの生理活性と分子特性の関係を解析するためには、まだまださまざまな問題が残っている。例えば前節のボンピコールと関連物質の生理活性を刺激源の濃度で現したが、これはテストした物質がすべて C16~18 の不飽和アルコールであ



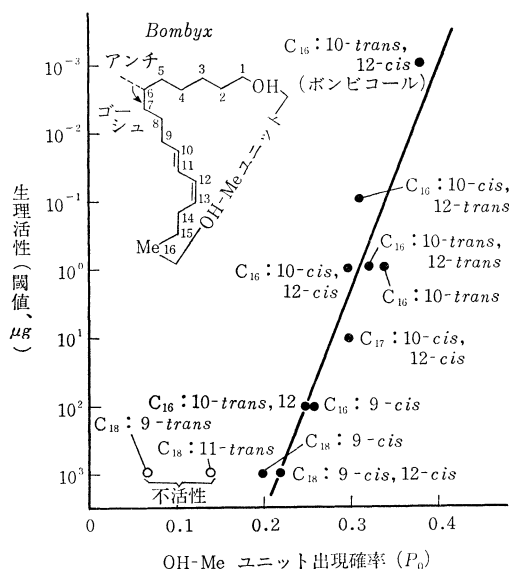
第5図 ボンピコール及び類縁不飽和アルコールの -CH₃ のC原子とπ結合の中心間の距離の頻度分布 (KIKUCHI, 1975)

二重結合の位置, *cis*, *trans* 異性, 炭素鎖の長さのわずかの違いによって作用ユニットの間隔は大きくずれる。サンプルしたコンホーマー各物質100, 単結合のアンチ—ゴーシェ間のコンホメーション自由エネルギー, 0.5 Kcal, 透視角 60°, 原子間のファンデルワールス力を優先, *Deilephila* に対する活性は, -CH₃ とπ結合(プロトン受容体)が5~6.2Åの距離を占める確率によって説明できる。

第2表 4種類のガに対する作用ユニットと活性一出現確率の相関

ガの種類	作用ユニット	距離 (Å)	2種の作用ユニットの関係	相関係数 (r)
<i>Deilephila</i>	A~Me	~6		0.94
<i>Agria</i>	A~D	~11		0.83
<i>Bombyx</i>	{D~Me(f) D~Me(a)}	{~14 ~5}	$P_0 = P_f - 2P_a$	0.94
<i>Endromis</i>	{D~Me(f) D~Me(a)}	{~14 ~5}	$P_0' = P_f' - 2P_a'$	0.92

D: -OH プロトン, Me: メチル基, A: 二, 三重結合.



第6図 ボンピコールと関連11物質のカイコガ (*Bombyx*) に対する生理活性と OH-Me ユニット出現確率 (P_0) の関係 (KIKUCHI, 1975)

生理活性は雄のフェロモン受容細胞に電位変化を与える匂い刺激源の最小量。 P_0 は2種類の OH-Me ユニット (F: 間隔約 14 Å, 出現確率 P_f , A: 間隔約 5 Å, 確率 P_a) により $P_0 = P_f - 2P_a$ で算出。傾斜より活性発現に必要な最小分子数は 20 個。

るため、蒸気圧と拡散の様式がほぼ等しいことを前提としている。しかし、この関係は常に成立つとは限らない。したがって活性一分子特性の関係を解析するためには嗅細胞近辺のフェロモン濃度を算出する必要がある。

次の例は 15 種類の脂肪酸と 3 種類の関連物質を水に溶かし、匂いを嗅がせてヒトに対する閾値を求めたデータの一部である (AMOORE ら, 1968)。このデータに基づいてヒトの嗅細胞近辺の匂い分子の濃度を求めてみよう。

まず、空中における分子数を求めるために、水一空気界

面における分配係数 ($K_{a/w}$) を求める。普通、特殊な物質以外に実測のデータがほとんどないし、常温で空中の分子濃度を測定することは容易でないから計算で求めることにする。 $C_A^{air} \ll C_A^w$ であれば、

$$K_{a/w} = C_A^{air} / C_A^w \quad (3)$$

C_A^{air} , C_A^w は物質 A の空气中、水中における濃度である。 $K_{a/w}$ は物質 A の水に対する溶解度 (または飽和溶液濃度, C_{A-s}^w) と A そのものの (水に溶かさないときの) 空中濃度 (C_{A-p}^{air}) の比になるから

$$K_{a/w} = \frac{C_{A-p}^{air}}{C_{A-s}^w} = \frac{P_A}{(RT \times 760) C_{A-s}^w} \quad (4)$$

ここで、 P_A : A の蒸気圧 (mm of Hg), R : 0.082, T : 絶対温度 (25+273=298)

$$\log P_A = -0.2185 \times A/T + B \quad (5)$$

$A=11182.8$, $B=8.55029$, $T=298$ であるから

$$P_A = 2.243 \text{ (mm of Hg)}$$

$$C_{A-p}^{air} = 2.243 / (S60RT) = 1.21 \times 10^{-4} \text{ (mol. l}^{-1}\text{)}$$

飽和溶液濃度 C_{A-s}^w は実測値があるときはこれを用いてもよいが、値がまちまちで必ずしも信用できない。そこで次の式により計算する。

$$\ln x_{A-s}^w = -\frac{V_A \phi_w^2}{RT} (\delta_A - \delta_w)^2 \quad (6)$$

ここで、 x_{A-s}^w : A の飽和モル分率, V_A : A の分子容 (分子量/密度), ϕ_w : 水の容積分率 (A の希薄溶液では $\phi_w=1$), δ_A : A の溶解度パラメーター, S_w : 水の溶解度パラメーター (25°C における $\delta_w=16.35$)。

$$\delta_A = \left(\frac{\Delta H - RT}{V_A} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$\Delta H = -2950 + 23.7 T_b + 0.02 T_b^2 \quad (8)$$

(8) より ΔH を求め、(7) で δ_A を求めて (6) に代入する。 ΔH : エンタルピー, $T_b=1 \text{ atm}$ における沸点 (°K)

iso-Butyric acid では、分子量=88.11, 密度=0.9682, 沸点 $T_b=153+273=426$ であるから

$$\Delta H = 11776$$

$$\delta_A = 11.08$$

$$x_{A-s}^w = 1.435 \times 10^{-2}$$

第3表 刺激源と嗅細胞近辺の匂い濃度の関係

匂い	閾値* (ppm, v/v)	分配係数 ($K_{a/w}$)	空中濃度 (mol. l^{-1})	粘液中濃度 (mol. l^{-1})
<i>iso</i> -Butyric acid	8.5	1.52×10^{-4}	7.10×10^{-9}	4.93×10^{-11}
<i>iso</i> -Butyl alcohol	22.5	4.13×10^{-3}	1.01×10^{-6}	9.71×10^{-7}
<i>iso</i> -Butylaldehyde	0.0435	1.40	2.78×10^{-7}	1.17×10^{-7}

* AMOORE et al. (1968), 他のデータは KIKUCHI & FUKAZAWA (未発表)

となる。水は $55.6 \text{ mol. } l^{-1}$ であるから *iso*-Butyric acid の飽和濃度 C_{A-S}^w は

$$C_{A-S}^w = x_{A-S}^w \times 55.6 = 7.98 \times 10^{-1} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

したがって、 A の水-空気の分配係数 $K_{a/w}$ は

$$K_{a/w} = C_{A-S}^{air} / C_{A-S}^w = 1.21 \times 10^{-4} / 7.98 \times 10^{-1} = 1.52 \times 10^{-4}$$

すなわち、水中の *iso*-Butyric acid の約 6,600 分の 1 が空中へ拡散する。

iso-Butyric acid の閾値は水溶液中 8.5 (ppm, v/v) であるから, 9.341×10^{-5} (mol. l^{-1})。原報ではフタル酸緩衝液により pH 4.8 としており, *iso*-Butyric の $pK = 4.84$ であるから, 約 50% が解離していない中性分子 ($4.671 \times 10^{-5} \text{ mol. } l^{-1}$) である。したがって空中濃度 C_A^{air} は

$$C_A^{air} = 4.671 \times 10^{-5} \times K_{a/w} = 7.10 \times 10^{-9} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

同様にして *iso*-Butylalcohol の空中における濃度を求める。式 (3) の $A = 10936.0$, $B = 9.118032$ であるから

$$P_A = 12.58 \text{ (mm of Hg)}$$

$$C_A^{air} = 6.77 \times 10^{-4} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

となる。また、飽和溶液濃度 C_{A-S}^w は式 (4) により

$$C_{A-S}^w = 1.64 \times 10^{-1} \text{ mol. } l^{-1}$$

となり、

$$K_{a/w} = 6.77 \times 10^{-4} / 1.64 \times 10^{-1} = 4.13 \times 10^{-3}$$

となる。*iso*-Butylalcohol の閾値濃度は 22.5 (ppm, v/v) = 2.435×10^{-4} (mol. l^{-1})。解離はないから空中濃度 C_A^{air} は

$$C_A^{air} = 2.435 \times 10^{-4} \times K_{a/w} = 1.01 \times 10^{-6} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

次に *iso*-Butylaldehyde の場合には式 (5) の A , B が分からないから、次のように沸点から蒸気圧 P_A を推定する。

すなわち

$$\log P_A = 2.8808 - \frac{\phi(T_b - T)}{T - 0.15(T_b - T)} \quad (9)$$

ϕ : エンタルピー, T_b : 沸点。 *iso*-Butylaldehyde の $\phi = 6$, $T = 298$, $T_b = 64 + 273 = 337$ (°K) であるから $P_A = 163.4$ (mm of Hg) となり

$$C_A^{air} = 8.81 \times 10^{-3} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

となる。また、飽和溶液濃度 C_{A-S}^w は

$$C_{A-S}^w = 6.30 \times 10^{-3} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

であるから

$$K_{a/w} = 8.81 \times 10^{-3} / 6.30 \times 10^{-3} = 1.40$$

閾値 0.0435 (ppm, v/v) = 4.791×10^{-7} より空中濃度 C_A^{air} は

$$C_A^{air} = 4.791 \times 10^{-7} \times \frac{K_{a/w}}{K_{a/w} + 1} = 4.791 \times 10^{-7} \times \frac{1.4}{2.4} = 2.78 \times 10^{-7} \text{ (mol. } l^{-1}\text{)}$$

第3表の3物質の水中、空中の濃度を比べると、水溶液では *iso*-Butylaldehyde 濃度が最も低く、最も強い匂いにみえるが、空中濃度で比較すると *iso*-Butyric acid のほうが閾値が低いといえる。

次に嗅細胞付近における匂い分子の状態を考えてみよう。嗅細胞は粘液中に浸っているから、空中の匂い分子は空気-水の間での分配係数に従って粘液中に入り、その後嗅細胞と初めて接触する。しかし、粘液の pH はほぼ中性で、強い緩衝能があると考えられるから、脂肪酸はほとんど解離し、わずかな中性分子と空中の分子との間に平衡が成立する。pH = 7 と仮定すれば $[H] = 10^{-7}$ であるから、粘液中の脂肪酸のうち非解離型の濃度 C_A^{nuc} は

$$C_A^{nuc} = \left(\frac{1}{10^7 K_a + K_{a/w}} \right) C_A^{air} \quad (10)$$

で与えられる (K_a : 脂肪酸 A の解離定数, $K_{a/w} \ll K_a \times 10^7$)。

式 (7) により *iso*-Butanol の $C_A^{nuc} = 4.93 \times 10^{-11}$ mol. l^{-1} , *iso*-Butylalcohol では 9.71×10^{-7} , *iso*-Butylaldehyde では 1.17×10^{-7} mol. l^{-1} となる。つまり、*iso*-Butyric acid は *iso*-Butylaldehyde に比べて約 2,000 倍閾値が低いことになる。このように、嗅細胞付近の匂いの濃度を正確に求めることによって初めて活性-構造の関係を検討することができる。

以上の例はヒトの嗅覚についての極めて複雑な例であるが、昆虫フェロモンについても基本的には同様の手順によって真の活性を求めることができるであろう。例え

ばフェロモンを有機溶媒に溶かしてガラスに滴下し、溶媒をとばした場合には式(9)を用いて沸点から蒸気圧を求め、空中の濃度を推定できる。しかし、フェロモンを希薄していった場合、フェロモン分子がガラス上で占める表面積が果たして濃度に比例するかどうかは明らかでなく、また、ガラスとの複雑な相互作用が介在するであろう。

次に感覚毛の細孔に到達したとき、嗅細胞表面に水の層があるかどうかで匂いの濃度は著しく異なる。現在はっきりした証拠はないけれども、細胞膜が空中に裸出しているとは考えにくく、哺乳動物同様水の層が存在するのであろう。空気-水の分配係数は式(6)と式(9)から求めればよい。

フェロモンをろ紙に浸みこませた場合にはセルロースの-OH基と匂い分子の相互作用によってガラスよりも複雑な蒸気圧の変化をきたすであろう。もしもフェロモンの水溶液(ほとんど溶けないから特殊な例であるが)を刺激液とするときはやはり式(6)と式(9)から空中のフェロモン分子数を算出できる。しかし、パラフィン系のミネラル油などに溶かしたときは式(6)の δ_w に相当するデータがないから計算できない。

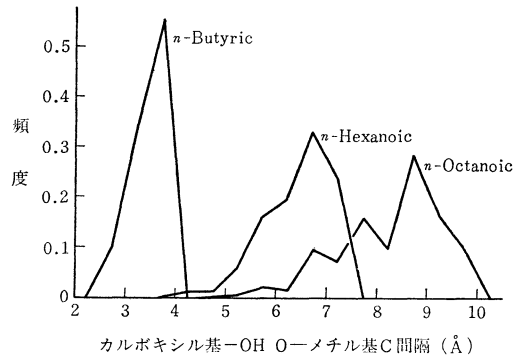
次にフェロモン分子の拡散についてもさまざまな問題があるが、これについてはWILSONら(1969)の優れた理論的考察があるので原報を参照されたい。

以上のように、フェロモンの活性測定については、それぞれ幾つかの簡便な方法が工夫されてきたけれども、活性-構造の解析のためには、今後検討されなければならない問題が数多く残されているといえよう。

VI コンピューターによる コンホメーション解析

IVで官能基間の距離の頻度分布を求めるために、種々のコンホマーについて模型を組み個々の距離を求めて集計した。もしも、 n 個のC-C単結合があればコンホマーの種類は 3^n となるから性フェロモンのように炭素数の多い分子についてはほとんど解析ができない。しかし、最近コンピューターにより、すべてのコンホマーの官能基の座標から距離を算出し、距離の頻度分布を求めることができるようになった。

次の例(第7図)はC4~C8の脂肪酸について、カルボキシル基のOHのO原子とメチル基のC原子の間隔



第7図 コンピューターによる脂肪酸の官能基間隔 (KIKUCHI & FUKAZAWA, 未発表)

の頻度分布をコンピューターにより求めたものである。この場合、原子間の反撥を消去するようプログラミングしており、フェロモンのように二重結合が幾つか入る炭素数10以上の物質についてもコンホメーションの解析が可能である。したがって、Vの有効分子数の正確な算出とコンピューターによるコンホメーション解析によって活性-構造関係を広く検討することが可能になると考えられる。

引用文献

- AMOORE, J. E., VENSTROM, D. & DAVIS, A. R. (1968): *Percept. Motor Skills*. 26: 143~164.
 ——— et al. (1969): *Science* 165: 1266~1269.
 KAISLING, K.-E. & PRIESNER, E. (1970): *Naturwiss* 57: 23~28.
 KIKUCHI, T. (1973): *Nature* 243: 36~38.
 ——— (1975): *Proc. Nat. Acad. Sci.* 72: 3337~3341.
 ——— & OGURA, K. (1976): *Insect Biochem.* 6: 115~122.
 PRIESNER, E. (1969): in *Olfaction & Taste*, ed. PFAFFMANN, C. (Rockefeller Univ. Press, New York) Vol. 3 pp 235~240.
 TAI, A. et al. (1971): *J. Insect Physiol.* 17: 181~188.
 WILLSON, E. D. et al. (1969): *ibid.* 15: 597.
 WRIGHT, R. H. & BRAND, J. M. (1972): *Nature* 239: 255.
 YOUNG, J. C. et al. (1973): *J. Insect Physiol.* 19: 2273~2277.
 菊池俊英 (1976): *化学の領域* 30: 619~628.

昆虫性フェロモンの種特異性と生殖隔離

農林省農業技術研究所 ^{たまき} 玉 木 ^{よしお} 佳 男

昆虫の性フェロモンは、昆虫の雌と雄とが交尾をしようとするときに、お互いにとり交している“ことば”である。昆虫の雄は、同じ種の雌が発する化学的な“ことば”を受けて、その雌を探し出し、それと交尾する。雌に近づいたあとで、今度は雄のほうも雌に対して化学的な“ことば”で話しかけることもある。このように昆虫の性フェロモンは同じ種の雌と雄が正しく交尾するうえで、大変重要な働きをしている。多種多様な昆虫が、どうして間違ふことなく同種同士で交尾をし、そして効率的に種を維持しているのか、という大変基本的な問題を解く一つの鍵を性フェロモンはもっている、といってもいいすぎではない。

I 情報伝達と生殖隔離

「種」が“交配しうる自然個体群から成る集団で、他の同じような集団から生殖的に隔離されているもの”である限り、生殖隔離は「種」の必須条件である。A という「種」とB という「種」が生殖的に隔離されている場合、その内容はいろいろな段階のものを含んでいる。A と B は見かけ上交尾をしても差し支えない場合もある。すなわち、精子が雌の体内で生存できないで接合子の形成までいたらない場合、あるいは接合子が形成されても、これが正常に発育しないなど、ともかく正常な子孫ができない場合には、明らかにA と B は生殖的に隔離されているといえる。しかし、このように交尾した後で働く隔離よりも、A と B が交尾をしないという機構のほうが隔離機構としては積極的である。

ではA と B が交尾しないようにしている機構は何か？。時間的・空間的に離れていないA種とB種の交尾前の生殖隔離は、この両種の交尾行動の違いによって起こっている。これは一般に行動学的隔離または性的隔離ともいわれており、その内容は伝達情報に対する反応の違いによって説明される。情報伝達をつかさどるものには、色、形、動きなどの視覚的なもの、音、振動などの聴覚的なもののほかに、匂いという臭覚的なものがある。性フェロモンは、この最後の匂いに相当する化学物質であり、この化学信号ともいべき性フェロモンの交尾行動における重要性が、多くの夜行性昆虫で明らかにされてきている。

ここでは比較的研究の進んでいる鱗翅目昆虫の誘引性

の性フェロモンについての話を中心に、性フェロモンの種特異性と生殖隔離の問題について述べることにする。同様のテーマについては既に論議を試みた(玉木, 1972)ので、これも参考にしていただけたら幸いである。

II 化学信号の種特異性

分布と発生時期が同じ2種の昆虫が交尾時刻も同じ時間帯に入るということは、ごく普通に見られる現象である。このような2種の昆虫が効率的に隔離されるには、どのような方法をとることが考えられるであろうか？。もっとも単純明快な方法は、この2種の昆虫はいずれもその雄が同種の雌のみに定位行動をとり、絶対に異種の雌には誘引されない、ということである。このことは実際に自然状態でごく普通に起こっていると考えられる。すなわち、雌が分泌放出する誘引性の性フェロモンが種によって、それぞれ異なっていれば、種特異的誘引が行われる。

それでは、鱗翅目昆虫の誘引性の性フェロモンにはどの程度の種特異性があるのだろうか？。現在までの知見によると、鱗翅目の雌が分泌し、雄を誘引する作用を示す性フェロモンは、炭化水素、アルコール、アルデヒド、ケトン及びエステルなどでいずれも分子量約300以下の脂肪族化合物である。そして、これらのなかでは不飽和アルコールの酢酸エステルが極端に多い。そして意外なことに多くの昆虫で同じ化学物質が性フェロモンとして報告されている。例えば、キンウワバ亜科の5種の昆虫(*Trichoplusia ni*, *Autographa biloba*, *Autographa californica*, *Pseudoplusia includens*, *Rachiplusia ou*)はいずれも *cis*-7-dodecen-1-ol acetate (DDA) を性フェロモンとしているという。また、マグラメイガ亜科の5種の昆虫(*Plodia interpunctella*, *Anagasta kuehniella*, *Cadra cautella*, *Cadra figuliella*, *Ephesia elutella*)はいずれも *cis*-9, *trans*-12-tetradecadien-1-ol acetate が性フェロモンであるとされている。

これらのデータは誘引性の性フェロモンが近縁の昆虫同士では意外と種特異性がないということを示すものかもしれない。これらの昆虫同士が“すみ分け”、発生時期の違い、交尾時刻の違いなどによって隔離されていないとすれば、誘引性性フェロモンが同じだということは異種間誘引をひき起こすことになる。

III 同一性フェロモンを共有する種間の隔離

異種間の誘引が起こっても、それはかまわない場合もある。すなわち、交尾行動の最終段階で異種の雄は雌から拒否されることによって、交尾前の隔離は一応成功するのである。この場合に作用するものは雌雄の近距離における化学信号、特に雄から放出される催淫性フェロモン (aphrodisiacs) が特に重要と考えられている。このフェロモンの種特異性についてはほとんど信頼できるデータがない。また、近距離においては夜行性鱗翅目昆虫でも視覚が重要な働きをしていることが分かっている。このように、近距離における化学信号や視覚刺激によっても2種間の隔離が起こりえない場合には、いよいよ実際に交尾をしてみて、初めてその交尾器の大きさや形態の違いから、うまくゆかないということになる場合も十分考えられる。しかし、このように交尾行動の終わりの段階になるまで相手が違うことが分からないなどということが自然状態でそんなにあろうはずはない。一連の交尾行動の初期の段階のうちに相手を識別することこそ、交尾前の隔離の主流であるはずである。

では、同一化学物質を誘引性の性フェロモンとして共有している種間の識別が、行動の初期段階で起こりうるだろうか?。ここに一つの検討に値する事実がある。それはキンウワバ亜科の2, 3の昆虫で最近明らかになったものである。*Trichoplusia ni*, *Pseudoplusia includens* 及び *Autographa californica* は、いずれも *cis-7-DDA* を性フェロモンとしているという。このフェロモンの合成産物を野外でいろいろな蒸発速度で検討したところ、これに誘引される昆虫の種は、この物質の蒸発速度を識別しているらしいことが明らかとなった。すなわち、*T. ni* と *P. includens* は蒸発速度が大のところの数多く誘引されているが、*A. californica* は逆に、蒸発速度が小のところの数多く誘引されている (KAAE ら, 1973)。この事実は同一の性フェロモン化合物を共有している種でも、その化学物質の特定の濃度に対して選択的な反応を示すことによって、種の識別が可能であるとの考えをもたらしめた。しかし、この考え方には一つの難点がある。それは、低濃度域選好性の種は高濃度域選好性種の雌の放出するフェロモンによって交尾行動が著しく妨害されるおそれがあることである。高濃度のフェロモン化合物を放出する *T. ni* の多発地帯における *A. californica* の雄が同種の雌を効率的に発見するためには、この化合物への感覚的適応反応を防止する手段を持つことと、同時に、低濃度の信号刺激の発信源を適確におさえる能力を持つことが必要である。このような手段と能力の可能性を

否定するものではないが、濃度選好性の違いによる種の識別の可能性については、更に実験による検討が必要である。

単一化合物による異なった情報の伝達手段には、その他に、濃度の時間的変化を考慮することによって可能とする考え方もある。すなわち、単位時間当たりの濃度変化の頻度を比較的安定に保つことができるならば、この濃度変化は電波に対する“臭波”ともいべき状態となる。したがって、この“臭波”の伝えうる情報量は飛躍的に増大する。BOSSERT (1968) は計算によって、風速 4m/sec の恒常条件下では、毎秒 100 ビット以上の情報を 10m の距離まで伝達することが可能であることを示した。鱗翅目昆虫の雌による性フェロモンの放出は、分泌腺の反転露出によって行われる。鱗翅目のある種ではこの分泌放出行動をリズムカルに行っていることがしばしば観察される。この場合、化学物質の放出は、一定の間隔で中断されることになり、上に述べた“臭波”が生成されることが考えられる。自然条件下では BOSSERT が考えたような理想的な恒常条件はなかなか満たされないかもしれないが、化学物質による伝達情報量を考える場合には考慮に入れるべき問題である。

IV 複数成分系性フェロモン ——その証明——

BUTENANDT ら (1959) がカイコガの性フェロモンの構造決定に成功して以来、特定の単一化合物がごく微量で極めて強い生物活性を示すという華々しい現象がいろいろの昆虫で知られてくるにつれて、この分野の研究者たちはほぼ 10 年間にわたって一種の錯覚—昆虫の性フェロモンは種特異的な単一の化学物質であるという考え方—にとりつかれていた。しかし、DETHIER は既に 1947 年に誘引性の匂い物質の基本的性質は「混合物」にあると指摘している。また、WRIGHT (1964) も、昆虫の性フェロモンは複数成分から成ると考えるべきことを主張している。そして、鱗翅目昆虫における最初の複数成分系性フェロモンの例は JACOBSON ら (1970) によってヨトウムシの1種 *Spodoptera eridania* について発見された。しかし、彼らはこの昆虫の2成分系性フェロモンの各成分に、それぞれ独立した機能を考えることによって複数成分という意味を理解しようとした。

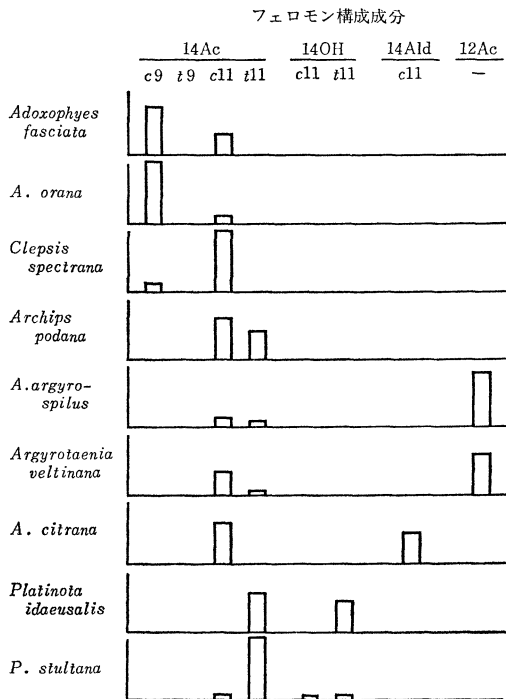
複数成分の混合割合が生物活性の発現に極めて重要な要因となっていることが最初に証明されたのはコカクモンハマキの性フェロモンについてであった (TAMAKI ら, 1971)。そして、コカクモンハマキの場合の二つの性フェロモン成分、*cis-9-* 及び *cis-11-tetradecen-1-ol acetate*

の混合割合の違いがチャノコカクモンハマキとリンゴコカクモンハマキの種特異的の化学信号になりうることを示唆されたのである。

V 複数成分系性フェロモン

—その一般性—

チャノコカクモンハマキとリンゴコカクモンハマキで性フェロモンの複数成分の混合割合の重要性が証明されて以来、多くの鱗翅目昆虫であいついで同様の事実が明らかにされつつある。そして今や鱗翅目の昆虫の性フェロモン、そしておそらくその他の昆虫の性フェロモンにおいても、複数の成分それぞれの化学物質の違いに加えて、各成分の混合割合が種特異的の化学信号を形造っていると考えられるにいたった。もっともよく調べられているハマキガ亜科の昆虫の場合を第1図に示す。同様の事実はその他の鱗翅目昆虫についてもごく一般的に認められようとしている(次ページの表参照)。



第1図 ハマキガ亜科の数種昆虫に見られる複数成分系の性フェロモン

複数の成分の相対的混合割合が構成成分の違いとともに種特異的の化学信号を形造っている。14Acは炭素数14のアルコールアセテート, OHはアルコール, Aldはアルデヒド, cはcis, tはtransを示す。

すなわち、性フェロモンを一般的に表現するならば、物質としての性フェロモン(P)はn個の構成成分の和、

$$P = x_1 + x_2 + \dots + x_n = \sum_{i=1}^n x_i$$

として表され、そして性フェロモンの化学信号としての内容(PS)は、各成分の函数、

$$PS = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

である。鱗翅目の複数系性フェロモンは、現在のところn=2が大部分であり、ごくまれにn=4の場合が見られる。従来n=1、すなわち単一化合物が性フェロモンとされている多くの鱗翅目昆虫は、更に厳密な再検討が必要である。「同一性フェロモンを共有する種」は、実は同一の性フェロモンを「共有してなかった」ということが明らかになってくるのではないだろうか。あまりにも有名なBUTENANDTらによるカイコガの性フェロモンについても、既にBombykolのほかにも少なくとも二つの活性成分の存在が示されている。

VI 性フェロモンの連続的変化と種の分化

鱗翅目の誘引性の性フェロモンが複数の構成成分からなっており、各成分の違いのほかに各成分の混合割合が種特異的の化学信号となっていると考え、この種特異的の化学信号は連続的に変化することが可能となる。

種の分化は一般に、まず地理的隔離による遺伝子流動の停止と新しい環境条件への適応、そしてこれにひき続く生殖隔離の成立によってなしとげられると考えられている。このように徐々に進行する種の分化に伴って、種特異的の化学信号も徐々に変化してきたと考えることができる。特に、分化しつつある種間の地理的障壁がとり去られた場合には、交尾前の隔離機構の重要性によって、当初はごくわずかにあった化学信号の差異は拡大する方向へと淘汰圧がかかることになる。すなわち、連続的な種の分化は誘引性性フェロモンという化学信号にも連続的変化を必然のものとし、そして複数成分の混合割合の重要性を明示している。

現在いろいろの昆虫に見られる性フェロモンの種特異性というその実体は、上に述べたように、連続的に変化してきた化学信号が近縁種間の生殖隔離のうえに必要なして十分な特異性を獲得した状態を示すものといえるであろう。このことは昆虫の系統分類学上で近縁のグループの種が、互いによく似た化学信号を利用していることからもうなずける。現在のところ、昆虫の性フェロモンの構造決定例は、この問題を十分に論議できるほどには多くない。しかし、ヒメハマキガ亜科の6種の昆虫はいずれも炭素数が12のアルコールまたはその酢酸エステ

鱗翅目雌の複数成分系性フェロモン

種名	一般名	構成成分	比率
キバガ科			
<i>Anarsia linealella</i>	peach twig borer	{ t 5-10OH c 5-10Ac	0~10 10~0
<i>Pectinophora gossypiella</i>	ワタノアカミムシ	{ c 7, c 11-16Ac c 7, t 11-16Ac	1 1
ハマキガ科			
<i>Adoxophyes</i> sp.	チャノコカクモンハマキ	{ c 9-14Ac c 11-14Ac	7 3
<i>Adoxophyes orana</i>	リンゴコカクモンハマキ	{ c 9-14Ac c 11-14Ac	9 1
<i>Archips argyropilus</i>	fruittree leafroller	{ c 11-14Ac t 11-14Ac 12Ac	7 3 40
<i>Archips podana</i>	fruit tree tortrix	{ c 11-14Ac t 11-14Ac	1 1
<i>Archips semiferanus</i>	oak leafroller	{ c 11-14Ac t 11-14Ac	33 67
<i>Argyrotaenia citrana</i>	orange tortrix	{ c 11-14Ald c 11-14Ac c 11-14Ac	5~1 1~10 94
<i>Argyrotaenia velutinana</i>	redbanded leafroller	{ t 11-14Ac 12Ac	6 200
<i>Clepsia spectrana</i>		{ c 9-14Ac c 11-14Ac	1 9
<i>Platynota idaesalis</i>	tufted apple bud moth	{ t 11-14OH t 11-14Ac c 11-14Ac	1 1~3 6
<i>Platynota stultana</i>	omnivorous leafroller	{ t 11-14Ac c 11-14OH t 11-14OH	96 0.2~2
メイガ科			
<i>Cadra cautella</i>	スジマダラメイガ	{ c 9, t 12-14Ac c 9-14Ac	
<i>Chilo suppressalis</i>	ニカメイガ	{ c 11-16Ald c 13-18Ald	5 1
<i>Ostrinia nubilalis</i>	アワノメイガ (New York)	{ c 11-14Ac t 11-14Ac	4 96
<i>Ostrinia nubilalis</i>	アワノメイガ (Iowa & Ontario)	{ c 11-14Ac t 11-14Ac	97 3
ヤガ科			
<i>Diparopsis castanea</i>	red bollworm	{ c 9, 11-12Ac t 9, 11-12Ac 11-12Ac	2 8 2.5
<i>Spodoptera eridania</i>	southern armyworm	{ c 9-14Ac c 9, t 12-14Ac	4 1
<i>Spodoptera exempta</i>	nutgrass armyworm	{ c 9-14Ac c 9, t 12-14Ac	1 1
<i>Spodoptera littoralis</i>	cotton leafworm	{ c 9, t 11-14Ac c 9, t 12-14Ac	100 1
<i>Spodoptera litura</i>	ハスモンヨトウ	{ c 9, t 11-14Ac c 9, t 12-14Ac	4~39 1
<i>Scotogramma trifolii</i>	clover cutworm	{ c 11-16OH c 11-16Ac	1 1~9
<i>Heliozis virescens</i>	tobacco budworm	{ c 9-14Ald c 11-16Ald	3 50~100
ヤママユガ科			
<i>Antheraea polyphemus</i>	polyphemus moth	{ t 6, c 11-16Ac t 6, c 11-16Ald	9 1

Ac: 酢酸エステル, OH: アルコール, Ald: アルデヒド

c 9, t 11-14Ac は cis-9, trans-11-tetradecadien-1-ol acetate を示す。比率は主として野外での誘引に対する好適比率。

ルを性フェロモンとしており、更にこのほかに 20 種以上のヒメハマキガ亜科のものがこれらの化合物に誘引されている。また、ハマキガ亜科の昆虫は構成決定された性フェロモンがすべて炭素数 14 のアルコール、その酢酸エステルまたはアルデヒドである。そして合成化合物の野外スクリーニングの結果、捕えられたハマキガ亜科の昆虫は、ごくわずかの例外を除いてすべてが炭素数 14 の化合物に反応している。第 1 図にも明らかなように、ハマキガ亜科の昆虫の誘引性性フェロモンには炭素数 14 で二重結合がメチル末端から 3 位にあるものが必ず認められる。このことはハマキガ亜科の性フェロモンの key component がこの ω_3C_{14} であり、この物質がこの亜科の起源種の化学信号であったことを推定させる。

性フェロモンの化学構造と昆虫の分類との関係は、このほかにも *Spodoptera* 属の 5 種で *cis-9, trans-12-tetradecadien-1-ol acetate* (TDDA) が発見されていること、キンウワバ亜科の昆虫の性フェロモンの主要成分は *cis-7-DDA* と考えられること、また、マドラメイガ亜科においても性フェロモンの主成分が *cis-9, trans-12-TDDA* と考えられることなど、次第に明らかになってきている。また、最近明らかとなったスカシバガ科の 2 種の昆虫の性フェロモンの 3, 13-octadecadien-1-ol acetate は、この 2 種のほかに少なくとも 30 種と同じ科の昆虫に対して誘引性を示し、この物質がスカシバガ科における key component であることは疑いない。

VII 化学信号による種間情報伝達

——行動学的隔離の一機構——

キンウワバ亜科の 2 種の昆虫、*T. ni* と *P. includens* は既に述べたように同一の性フェロモン *cis-7-DDA* を共有しているという。事実両種の雄は、この化合物でよく誘引され、そして既に述べたようにこの物質の蒸発速度に対する選択性も両種間に差異はない。しかし、野外にこれら両種の処女雌トラップを設置したところ興味ある事実が明らかとなった。すなわち、*P. includens* の処女雌には両種の雄がよく誘引されるのに、*T. ni* の処女雌には同種の雄はよく集まるにもかかわらず *P. includens* の雄はあまり集まらない。そして *cis-7-DDA* を誘引源としたトラップに *T. ni* の処女雌を併置したところ、このトラップへの *P. includens* に対する誘引性は著しく低下したのである (MITCHELL, 1972)。すなわち、*T. ni* の処女雌は *P. includens* 雄の定位行動を抑制する物質を放出していると推定される。この物質はあるいは *T. ni* の性フェロモンの一構成成分なのかもしれない。性フェロモンの主要成分が近縁の別の種の定位行動を抑

制するという事実はコスカシバの近縁種 *Synanthedon pictipes* と *Sanninoidea exitiosa* の関係やアワノメイガの 2 型の間に見られる関係で明らかなとおり、ごく一般的に見られる現象と考えることができる。これらの事実は、性フェロモンを構成する化学物質が、もはや種内の化学信号だけにとどまらずに、種間の化学信号として関与していることを示唆するものであり、性フェロモンという言葉の定義にとらわれていると、重要な事実を見落とすおそれのあることを我々に教えている。

VIII 種特異的誘引機構

複数の構成成分のある一定の混合割合の性フェロモンに雄がよく集まるといふ現象、すなわち性フェロモンの種特異的誘引は生殖隔離のうへで大変重要な働きをしている。しかし、この混合物による種特異的誘引のメカニズムについて、我々はほとんど何も知らないのである。

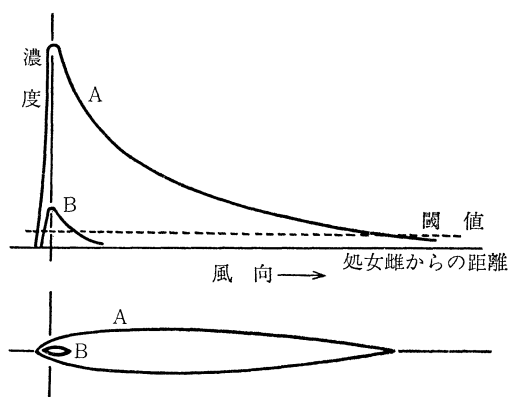
二つの物質を混合することによって活性が著しく高まる現象を一般に共力作用という。性フェロモンの場合の共力作用はどのようにして現れるのだろうか。この点に関しては、行動の詳細な解析と同時に、物質による反応発現機構の解明が進むことによって明らかになってくるであろう。現段階でいえることは、複数成分の共力作用にも、その内容に二つのタイプがありそうであることである。その一つは、単独成分では全く行動上の生物活性を示さずに、混合することで初めて活性を表すものであり、これを仮に A 型共力作用という。その 2 は、単独の成分またはある限られた混合物でもある程度の生物活性をもっているが、これに別の成分を加えることによって著しく高い活性が示される場合であり、これを仮に B 型共力作用という。

前者の典型的な例はチャノコカクモンハマキであり、後者の例としてはハスモンヨトウがある。A 型共力作用では、コカクモンハマキの場合二つの化合物が混合して初めて特定の生物活性 (性的興奮) を表すが、B 型共力作用のハスモンヨトウでは主成分単独でもわずかの誘引性がある。この場合、少量成分の添加によってその誘引性一誘殺虫数一が著しく増大する。そして性的興奮はいずれの化合物単独でももたらされるのである。これらの事実は、B 型共力作用が行動上の活性発現のうへで異なった機能をもつ 2 成分の複合作用を表している可能性を示唆している。すなわち、A 型共力作用は受容器から神経系のレベルの問題であると考えられるのに反して、B 型共力作用はその多くの部分を行動レベルの問題として解釈できるのではないだろうか。

B 型共力作用の例は、複数成分の最適混合比からおお

よその見当をつけることもできる。主成分に対する少量成分の比率が 1/10 を下まわる例、例えばハスモンヨトウのほかにも *Argyrotaenia velutinana* における *trans* 異性体、*Platynota sturtana* における 2 種のアルコールなどは、主成分と異なった行動上の機能を示唆するものである。このことは、主成分と少量成分に対する触角の反応閾値 (EAG) がほとんど変わらないことから容易に推定できる。閾値が同等で放出量が著しく異なる場合には、当然のことながら主成分と少量成分の野外条件下における風下側の有効範囲は著しく異なることになる (第 2 図)。すなわち、雄成虫の雌に対する定位行動は、この場合少量成分の有効範囲の外縁を境として、二つの異なった行動パターンをとることが考えられる。少量成分の有効範囲が適当に狭いことが、雄をして雌のいる pin point を正確に探しあてることに役立っているのであろう。

このように、複数成分系性フェロモンの種特異性といっても、各構成成分の機能の違いを十分に把握しておかないと、正しい理解はできない。雄がある一定の距離から雌のところへ到達するまでの行動は化学信号の有効範囲に応じて、一定の順序に従った転換が行われている可能性がある。鱗翅目の性フェロモンの複数成分の種類とその混合割合は、この B 型共力作用の考え方に見られるように、各成分の機能を解析することを通して再評価されなければならない。そして、複数成分系性フェロモンの種特異的誘引と、これの生殖隔離のうえに果たす役割は、このような解析によって初めて具体的に明らかとなってくるであろう。

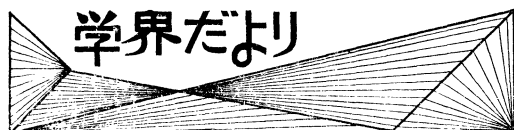


第 2 図 主成分と微量成分からなる二成分系性フェロモン各成分の有効範囲

主成分の単独作用域と 2 成分の複合作用域の二つの領域が想定される。雄は定位行動の時間経過とともに異なった化学信号にさらされる。

参考文献

- ROELOFS, W. L. (1974) : In "Pheromones", Ed. M. C. BIRCH, North-Holland/American Elsevier, pp. 96~114.
- SHOREY, H. H. (1970) : In "Control of insect behavior by natural products", Ed. D. L. WOOD et al., Academic Press, London, pp. 249~284.
- 玉木佳男 (1972) : 生物科学 24 : 119~129.
- WILSON, E. O. (1970) : In "Chemical ecology", Ed. E. SORDHEIMER & J. B. SIMEONE Academic Press, N. Y. pp. 133~155.
- WRIGHT, R. H. (1964) : Nature 204 : 121~125.



学界だより

○日本植物病理学会秋季関東部会開催のお知らせ

期 日 : 51 年 11 月 29 日 (月) 午前 9 時 30 分 ~

会 場 : 農林省農業技術研究所講堂

東京都北区西ヶ原 2 の 1 の 7

電話 東京 03-915-0161 番

会 費 : 400 円

連絡先 : 日本植物病理学会関東部会事務取扱所

東京農工大学農学部植物病理学教室内

東京都府中市幸町 3 の 5 の 8 [郵便番号 183]

電話 0423-64-3311 番 (内線 401 または 402)

新刊本会発行図書

ネズミ関係用語集

ネズミ用語小委員会 編

B 6 判 30 ページ

実費 250 円 送料 120 円

ネズミ関係用語 108 用語をよみ方、用語、英訳、解説の順に収録。ほかに英語索引と日本産ネズミ科の分類、主な殺そ剤、ネズミの形態的特徴 7 図を付録とした講習会のテキストに最適なパンフレット。

お申込みは前金 (現金・小為替・振替) で本会へ

鱗翅目昆虫の雄から分泌される性フェロモンとその機能

の 湯 しま 嶋 たけし 健
農林省農業技術研究所

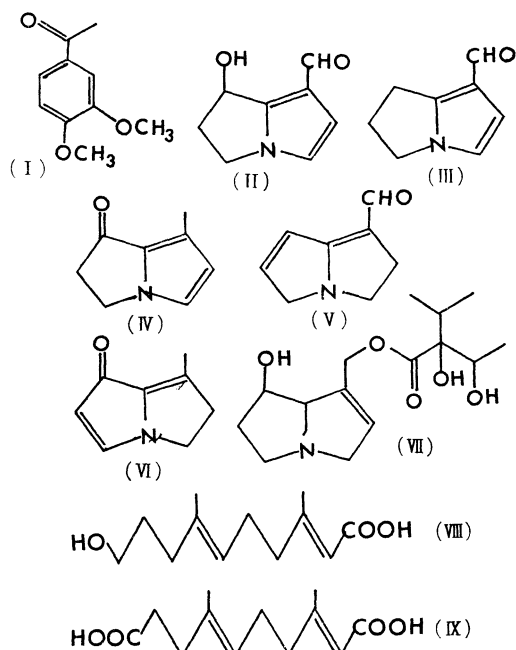
鱗翅目昆虫の配偶行動において雄から分泌されるフェロモンが重要な役割を果たしていることが明らかにされたのは、マダラチョウ類についての研究が始まりである。その後、他のチョウ類やガ類についてもその重要性が明らかにされてきているが、研究は緒についたばかりで、その面白さは今後に残されている。

I マダラチョウ類のヘヤー・ペンシルからの分泌物

マダラチョウ類は美しいだけでなく、その優雅な飛翔の仕方などから、その配偶行動については、古くから行われていた。その代表的なものは BROWER ら (1965 a, b) によるオオカバマダラの1種 *Danus gilippus berenice* についての観察である。飛しょうしている雌を発見すると、雄は接近し、やがて先行して飛しょうする。この際、腹部末端に存在するヘヤー・ペンシルを傘のようにひろげ、これを雌の触角や頭部にすりつける行動が見られる。雌は間もなく飛しょうをやめて木の枝や草の上に静止する。雄はなおも雌の周囲を飛しょうし続けながら、ヘヤー・ペンシルをすり続ける。やがて雄も飛しょうをやめて雌の傍にとまり、交尾が行われる。つまり、雄のヘヤー・ペンシルから分泌される物質が、雄に対する雌の交尾受け入れの行動をひき起こすのだということを想像させる。

ヘヤー・ペンシルから分泌される物質については、トリニダッドで採集したアトグロトラフマダラ *Lycorea ceras ceras* の雄から MEINWALD ら (1966) によって既に取り出されていた。すなわち、1種のピロリジノン(第1図-IV)と、2種のアルコールの酢酸エステル(第2図-I, II)である。しかし、これらの物質がどのような作用を示すかということについては明らかでなかった。マダラチョウ類の雄のヘヤー・ペンシルから分泌される物質の役割は生生物学 (PLISKE and EISNER, 1969), 神経生理学 (SCHNIDER, 1969) 及び化学的 (MEINWALD et al., 1969) のオオカバマダラの1種 *D. gilippus berenice* の配偶行動についての共同研究によって初めて明らかになったのである。

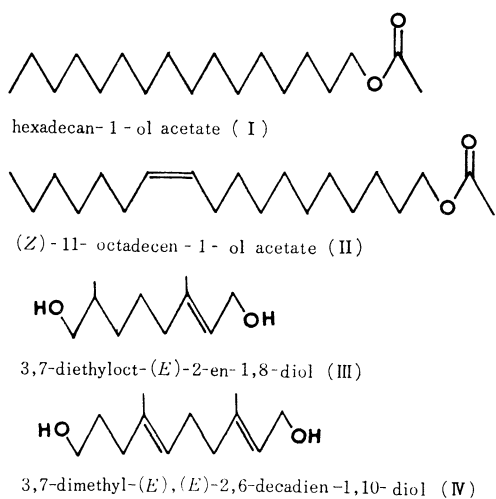
ヘヤー・ペンシルの中からはアトグロトラフマダラから発見されたピロリジノン(第1図-IV)と、1種のジオール(第2図-IV)とが同定された (MEINWALD et al., 1969)。一方、PLISKE と EISNER は、野外において 336



- (I) 3,4-dimethoxy-acetophenone
 (II) 7-hydroxy-6,7-dihydro-5H-pyrrozin-1-carboxaldehyde
 (III) 6,7-dihydro-5H-pyrrozin-1-carboxaldehyde
 (IV) 2,3-dihydro-7-methyl-1H-pyrrozin-1-one
 (V) 2,3-dihydro-1H-pyrrozin-1-carboxaldehyde
 (VI) 6,7-dihydro-7-methyl-1H-pyrrozin-1-one
 (VII) (2,3-dihydro-1H-pyrrozin-7-yl)methyl 2,3-dihydroxy-2-(1-methylethyl)butanoate
 (VIII) (E, E)-10-hydroxy-3,7-dimethyldeca-2,6-dienoic acid
 (IX) (E, E)-3,7-dimethyl-2,6-decadien-1,10-dioic acid

第1図 マダラチョウ類のヘヤー・ペンシルに含まれる催淫物質
(文献 16, 18~21, 33, 35~41 から作る)

匹の雄を採集して、マーキングした後、112匹ずつ3群に分けて採集した地点で放飼した。第1群はヘヤー・ペンシルを切除、第2群は切り取るため操作を行っただけでヘヤー・ペンシルは切除せず、第3の群は何の処理も行わなかった。観察を続けながら、2日ごとに交尾して



第2図 マダラチョウ類のヘヤー・ペンシルに含まれる粘着物質 (文献 35~40 から作る)

いるものを再捕獲して調査を行った。第2, 第3群のものはそれぞれ40% 及び49% が最低1回は再捕獲されたのに対し, 第1群のものはわずか1匹再捕獲されたに過ぎなかった。

更に, 野外に大きな網室をつくり観察を行ったが, やはり同じような結果であった。ヘヤー・ペンシルを切除された雄も正常な雄と同じような行動をとり, 雌もいったんは葉上に静止するけれども, すぐに飛び立って交尾が行われない。しかし, ハンド・ペアリングを行えば雌は受精して産卵が行われる。ヘヤー・ペンシルを調べて見ると, その毛状器官には細かなクチクラ状のたくさんの粒子が付着し, 更に毛の根元には特殊な分泌腺が存在する。更に交尾が終わったばかりの雌の触角を調べて見ると, ヘヤー・ペンシルからの微細な粒子が発見された。

もう一つの発見は偶然のことから生じた。すなわち, 室内で飼育された *D. gilippus berinice* は野外のものよりも交尾率が低いのである。これはいったん静止した雌が, 雄が交尾しようとする時飛び立ってしまうことが原因である。この現象はピロリジノンあるいはジオールのいずれかが欠けているか, 不足しているのではないかと考えた。雄のヘヤー・ペンシルに合成したピロリジノンと, ジオールの代わりに鉱油を付着させてやると, 交尾率は明らかに増加が見られた。

このいずれかが雌を静止させる役割を果たしているのかについては SCHNEIDER 及び SEIBT (1969) によって電気生理学的に確かめられた。すなわち触角電図 (EAG) によって興奮が調べられたが, 興奮はピロリジ

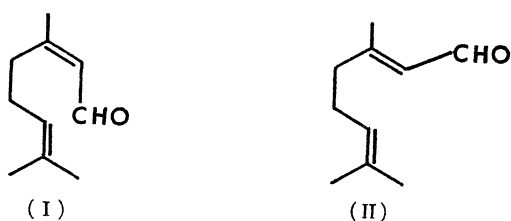
ノンだけしかひき起こさなかった。すなわち, ジオールは粘着物としての役割を果たしているのに過ぎないことが明らかにされたのである。

現在までに多くのマダラチョウ類から, 催淫物質 (aphrodisiac substance) (第1図) と粘着物質 (第1図) とが同定されている (MEINWALD et al., 1966, 1968, 1969, 1974; EDGAR et al., 1971, 1973a, b, 1974; MILES, 1972)。

ここで興味あるのは *D. plexippus* からは (E), (E)-3,7-dimethyl-2,6-decadien-1,10-dioic acid (第1図-X) 及び (E), (E)-10-hydroxy-3,7-dimethyldeca-2,6-dienoic acid (第1図-VIII) とが発見されているが, これらの物質は他のマダラチョウ類に対して催淫的な作用を示すことはできない。ところがこのマダラチョウに対してピロリジノンは催淫的な作用を示すのである。

II チョウ類の香鱗物質

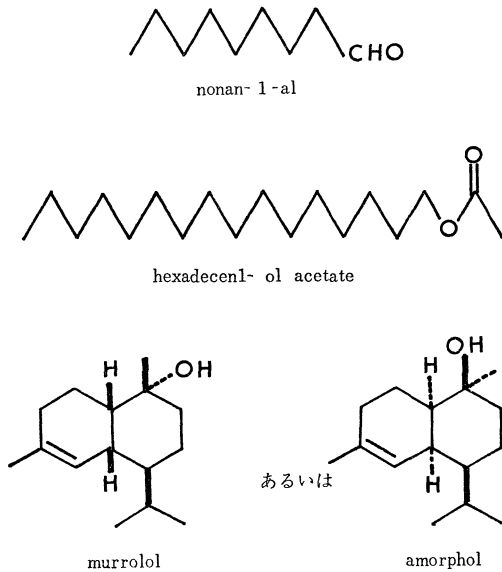
シロチョウ類の雄に香鱗 (scent scale) が存在することはよく知られている。エゾスジグロシロチョウ *Pieris napi* の香鱗物質としてはグラニアル及びネラルの2種のアルデヒドが同定されている (BERGSTRÖM and LUNDGREN, 1973) (第3図)。



- (I) 3,7-dimethyl-2-(E)6-octadien-1-al [(E)-citral=geranial]
- (II) 3,7-dimethyl-2-(Z)6-octadien-1-al [(Z)-citral=neral]

第3図 エゾスジグロシロチョウの香鱗物質

このような香鱗物質はミドリシジミ *Lycaeides argyrognomone* でも知られている (LUNDGREN and BERGSTRÖM, 1975) (第4図)。これらの物質はおおむねマダラチョウ類のヘヤー・ペンシルからの分泌物と同じような作用を示す。ここで興味があるのは, 未交尾の雌に対し, これらの物質をガラス棒につけて近づけると静止しているが, 交尾した雌に同様の処理を行うと交尾拒否の姿勢をとり, やがて飛び立ってしまうのである。モンシロチョウの場合には既交尾の雌は雄のモデルに対する視覚刺激によって交尾拒否行動がとられるのに対し, ミドリシジミ



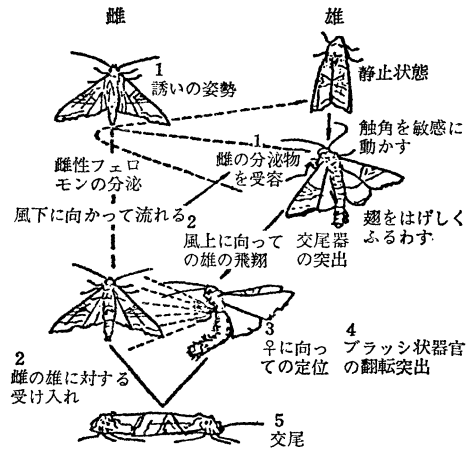
第4図 ミドリシジミの香鱗中の催淫物質
(BERGSTRÖM and LUNDGREN, 1975)

では嗅覚刺激がその役割を果たしているのである。

III ヤガ類の臭毛物質

ガの仲間でも最も調査が進んでいるのはヤガ科である。ガの仲間には腹部末端に存在するヘヤー・ペンシルのほかに、雄だけに存在する臭毛器官が知られている。その幾つかの種類については匂い物質を分泌することが知られている(次ページの表参照)。例えばアワヨトウの近似種 *Leucania conigera* には可動性の柄の先に毛束をつけた“はたき”のような形の器官が存在する。この毛束は普段は第3~5腹板にまたがるポケットの中に収納されており、柄の基部に付着する筋肉の収縮によって突出される。第1腹板の上部に存在するストーブス腺から分泌される物質は柄を通して毛束に達して放出される (APLIN and BIRCH, 1968)。これらの物質の役割についてはまだ完全な証明はなされてはいないが、おそらく催淫的なものであろうと考えられている。

それには BIRCH (1972) によるカラスヨトウ亜科の1種 *Phlogophora meticulosa* の配偶行動の観察は参考にならう。すなわち、雌が誘いの姿勢をとって性フェロモンを放出すると、雄は風上に向かって飛しようとして雌に接近する。雌に接近すると、雄は腹部に向かって毛束を突出して匂い物質を雌に向けて放出する。この際の匂いはかなり強く、人間でも十分感じるほどであるという。このような過程を経た雌は交尾を受け入れる姿勢をとり交尾



第5図 カラスヨトウ亜科の1種 *Phlogophora meticulosa* の交尾にいたるまでの行動 (BIRCH, 1972)

が完了する(第5図)。

このような物質は明らかに雌に興奮をひき起こし(なだめとしての)、EAGの反応が見られる (GRANT, 1970 1971b; GRANT et al., 1972)。

IV ヒトリガ類のヘヤー・ペンシルからの分泌物

ヒトリガの1種 *Utetheisa pulchelloides* のヘヤー・ペンシルからは 7-hydroxy-6,7-dihydro-5H-pyrrolizin-1-carboxaldehyde (第1図-II) が、また、*U. lotrix* からはこのピロリジノンの他のもう一つの物質 6,7-dihydro-5H-pyrrolizin-1-carboxaldehyde (第1図-V) が見いだされている。これらの物質の作用についてはまだ十分な証明は行われていないが恐らく、マダラチョウ類の場合と同じであらうと考えられている (CULVENOR and EDGAR, 1972)。

V コクガ類の wing gland からの分泌物

コクガ類の雄の前翅の基部に近い場所に wing gland といわれる分泌腺が存在する。この役割については恐らく催淫的なものであろうと考えられていたが、最近配偶行動の解析によって完全に証明された (GRANT, 1974; GRANT and BRADY, 1975a, b)。

例えば、スジコナマダラメイガ *Cadra cautella* の翅の大部分を切除してもほとんど正常な雄と同じように交尾することができる。しかし、この wing gland だけを切除してしまうと、その部分はごくわずかであるにもかかわらず交尾率は急速に減少してしまう。これは、wing gland を切除した雄が接近して前戯 (display) を行おう

ヤガ科の雄の臭毛中から検出された性フェロモン

科名及び種名	物質
ヤガ科Noctuidae	
ヨトウガ亜科Hadeninae	
<i>Mamestra configurata</i>	<chem>CC(O)CO</chem>
<i>M. persicariae</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)O</chem> <chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>Morrisonia lignana</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>M. omplaca</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>M. ustistriga</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>Persentania aversa</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>P. steropastis</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>Polia nebulosa</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)O</chem> <chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>Pseudaltia separata</i>	<chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>P. unipuncta</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>O=C(O)C</chem> <chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
<i>Leucania impura</i>	<chem>O=C(O)C</chem>
<i>L. conigera</i>	<chem>O=C(O)C</chem>
<i>L. pallens</i>	<chem>O=C(O)C</chem>
カラスヨトウ亜科Amphipyridae	
<i>Apamea monoglypha</i>	<chem>CC1(C)C(C)C(C)C1=O</chem>
<i>Phlogophora meticulosa</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)CO</chem>
シタバガ亜科Catocalinae	
<i>Aletia conigera</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>O=C1C=CC=CC=C1</chem>
モクメヤガ亜科Cuculinae	
<i>Cuculia umpratica</i>	<chem>CC(O)CO</chem> <chem>CC(O)CO</chem>

文献 1, 8, 12, 14, 15, 23, 29, 32 から作る

とすると、雌は 180° 回転して、交尾拒否の姿勢をとってしまうからである。

この物質については、まだ化学的な研究は進んでいない。しかし、多くのコクガ類の雌から放出される性フェロモンの主要成分はいずれも (Z), (E)-9, 12-tetradecadien-1-ol acetate であり、その比較行動学の面からも興味を持たれるところである。

VI 雄から分泌される性フェロモンの特徴

雄から分泌される性フェロモンは今まで述べたように、チョウ類、ガ類を問わず催淫的な作用を示す（ごくわずかな例外については後述）。また、種特異はあまり明

瞭でなく、近似の種類は同じような物質の存在が確認されている。これは食草に起源があると考えられている。事実食草中に含まれているメロリジノンはいくつかの昆虫、特にマダラチョウ類に対して誘引性を持っている (PLISKE, 1975; CLUVENOR & EDGER, 1975)。もう一つの理由は、ごく近接距離において放出される、場合によっては接触化学刺激 (contact chemicals) として作用するから、特に種特異性がある必要がないとも考えられる。

更に、これらの物質は量的にはかなり濃度が高いことが挙げられる。例えばエゾスジグロシロチョウからは、1 個体から 1 mg (geranial : neral = 2 : 1) の物質が得られたという (BERGSTRÖM and LUNDGREN, 1973)。

VII そのほかの問題

雄だけに存在する毛状器官については断片的に知られているけれども、意外に系統的な研究は少ない。この中で DICKENS (1936) の先駆的な研究や BIRCH (1972a, b) のヤ

ガ科についての系統的な研究は極めて優れたものの一つである。また、BIRCH (1970) のヤガ科の *Phlogophora meticulosa* について、GRANT (1971) のイラクサギンウワバ *Trichoplusia ni* について、GRANT 及び EATON (1973) のスズメガの 1 種 *Manduca sexta* の形態学的な研究は大いに参考になろう。また既に、微細構造についても研究が進められている (CLEARWATER, 1975; CLEARWATER and SARAFIS, 1973; GRANT and BRADY, 1973; WHETHERSTON and PERCY, 1969)。

化学的あるいは配偶行動解析を行う基礎ともなるこのような研究が我が国でも興味を持たれることを希望したい。

VIII 誘引性を持った雄からの誘引物質

雄からの分泌物で誘引性があるものは、ハチミツガ *Galleria mellonella* から undecan-1-al と nonan-1-al が、また、コハチノスツブリガ *Achroia grisella* から undecan-1-al と (Z)-11-octadecan-1-al が知られているに過ぎない。しかし、これらの物質だけでは十分な誘引性はなく、放出の際の風を送るような翅音との共同作用が必要である。更に、この作用距離は極めて近く雌から放出される性フェロモンとは本質的に異なっている (DAHM et al., 1971)。

おわりに

鱗翅目昆虫の配偶行動は初めに考えられていたほど単純なものではないことが次第に明らかにされてきた。その中の一つが雄からの性フェロモンであって、配偶行動の比較行動学的解析には欠くことができないものになってくるだろう。例えば、化学的成分についてはまだ十分ではないがイラクサギンウワバ (GOTHILF and SHOREY, 1976) や、ノシメコクガ (GRANT et al., 1975) についてもさまざまな雄の付属器官からの分泌物が役割を果たしていることが明らかにされてきている。今後の発展が大いに期待されよう。

引用文献

- 1) APLIN, R. T. and M. C. BIRCH (1970) : *Experientia* 26 (11) : 1193~1194.
- 2) ——— (1968) : *Nature* 217 : 1167~1168.
- 3) BIRCH, M. C. (1971) : *ibid.* 233 : 57~58.
- 4) ——— (1970) : *Trans. Roy. Entomol. Soc. London* 122 (9) : 277~292 with 2 Pl.
- 5) ——— (1970) : *Anim. Behav.* 18 : 310~316.
- 6) ——— (1972) : *The Entomologist* 105(1311) : 185~205.
- 7) ——— (1972) : *ibid.* 105 (1312) : 233~244.
- 8) BIRCH, M. C., G. G. GRANT and U. E. BRADY (1976) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 69(3) : 491~492.
- 9) BERGSTRÖM, G. and L. LUNDGREN (1973) : *Zoon, Supp.* 1 : 67~75.
- 10) BROWER, L. P., J. V. Z. BROWER and E. P. CRANSTON (1965 a) : *Zoologista* 50 : 1~40.
- 11) ——— and M. JONES (1965b) : *Proc. Roy. Entomol. Soc. London* 40 : 47~51.
- 12) CLEARWATER, J. R. (1972) : *J. Insect Physiol.* 18 : 781~789.
- 13) ——— (1975) : *J. Morphol.* 146 (1) : 129~176.
- 14) ——— (1975) : *Comp. Biochem. Physiol.* 508 : 177. (indirect)
- 15) ——— and V. ARAFIS (1973) : *J. Insect Physiol.* 19 : 19~28.
- 16) CULVENOR, C. C. J. and J. A. EDGAR (1972) : *Experientia* 28 (6) : 627~628.
- 17) DICKENS, G. R. (1936) : *Trans. Roy. Ent. Soc. London* 85 : 331~362.
- 18) EDGAR, J. A. and C. C. J. CLUVNER (1974) : *Nature* 248 : 614~616.
- 19) ——— (1975) : *Experientia* 31(4) : 1~2.
- 20) ——— and L. W. SMITH (1971) : *ibid.* 27(7) : 761~762.
- 21) ——— et al. (1973) : *Austral. Entomol. Soc.* 12 : 144 (indirect).
- 22) GRANT, G. G. (1970) : *Nature* 227 : 1345~1346.
- 23) ——— (1971a) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 64 (2) : 347~352.
- 24) ——— (1971b) : *ibid.* 64 (6) : 1428~1431.
- 25) ——— (1974) : *Experientia* 30 : 917~918.
- 26) ——— (1976) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 69(3) : 445~449.
- 27) ——— and U. E. BRADY (1973) : *J. Georgia Entomol. Soc.* 8(2) : 99~106.
- 28) ——— (1975) : *Can. J. Zool.* 53 (6) : 813~826.
- 29) ——— and J. M. BRAND (1972) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 65(5) : 1224~1227.
- 30) ——— and J. L. EATON (1973) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 66 (4) : 901~904.
- 31) ———, E. M. SMITHURICK and U. E. BRADY (1975) : *Can. J. Zool.* 53 (6) : 827~832.
- 32) GOTHILF, S. and H. H. SHOREY (1976) : *Environ. Entomol.* 5 (1) : 115~119.
- 33) KATZENELLENBOGEN, J. A. and K. J. CHRISTY (1974) : *J. Org. Chem.* 39 (23) : 3315~3318.
- 34) LUNDGREN, L. and G. BERGSTRÖM (1975) : *J. Chem. Ecol.* 1(4) : 399~412.
- 35) MEINWALD, J. M., C. J. BORIACK, D. SCHNEIDER, M. BOPPRE, W. F. WOOD and T. EISNER (1974) : *Experientia* 30(7) : 721~723.
- 36) ———, A. M. CHALMERS, T. E. PLISKE and T. EISNER (1968) : *Tetrahedron Lett.* 47 : 4893~4896.
- 37) ——— (1969) : *J. Chem. Soc. D. (Chem. Comm.)* 86 : 86~87.
- 38) ——— and Y. C. MEINWALD (1966) : *J. Amer. Chem. Soc.* 88 (6) : 1305~1310.
- 39) ——— and P. H. MAZZOCCHI (1969) : *Science* 164 : 1174~1175.
- 40) ———, J. W. WHEELER, T. EISNER and L. P. BROWER (1969) : *ibid.* 151 : 583~585.
- 41) MILES, F. H. et al. (1972) : *Tetrahed. Lett.* 40 : 3019. (indirect)
- 42) PLISKE, J. E. (1975) : *Ann. Ent. Soc. Amer.* 68(1) : 143~151.
- 43) ——— (1975) : *Environ. Entomol.* 4 (3) : 455~473.
- 44) ——— and T. EISNER (1969) : *Science* 164 : 1170~1172.
- 45) SCHNEIDER, D. and U. SEIBT (1960) : *ibid.* 164 : 1175~1176.
- 46) WHETHERSTON, J. and J. E. PERCY (1969) : *Can. Entomol.* 101 : 280~285.

ゴキブリの配偶行動と性フェロモン

京都大学農学部農薬研究施設 ^{たかはし}高橋 ^{しやう}正 ^{ぞう}三・^{きたひら}北村 ^{ちかよし}実彬

はじめに

昆虫の配偶行動は、交尾という結末だけに注目すれば至って簡単で共通した行動に集約されてしまう。しかし、昆虫における配偶行動を、①雌雄1匹ずつが一つの場所で出会うこと (orientation), ②互いに同種の配偶者であることを認知すること (discrimination), ③両者のいろいろな行為を時間的に調整すること (synchronization), ④交尾器の接触、把握が行われること (copulation) などについて、比較考察すると、種々のパターンが存在することに気付く。このような配偶行動のパターンが、進化の過程で多様化してきたことが考えられ、これらの信号系の違いによって異種間交雑が避けられてきたと考えられている。①, ②の配偶者の発見、認知に関して使われる手段は、モンシロチョウ、ホタルにおける視覚、シロウジウバエ、コオロギにおける聴覚、多くの鱗翅目で知られている化学感覚などがある。化学感覚には、よく知られているように性フェロモンがあり、このなかにも、嗅覚に訴える場合と、化学物質の接触による場合におけることができる。

このように、昆虫の配偶行動の過程には、非常に合目的な行為がある反面、全く儀式的な行為も認められ、複雑で微妙な一連の行為の系列も存在する。それでは、ゴキブリの配偶行動は、科、属、種のなかで、どのような共通点を持ち、どのような差異があるのかを考察してみたい。

I ゴキブリの配偶行動

ヤマトゴキブリの雄は、遠くから雌を認知すると、そばに近づき触角で雌の体に触れる。雄は、それが、同種の雌であることを認知すると、雌の前へ回り込んで180度回転し、雌のほうへ尻を向ける。その時、雄は翅を45~90度の角度に上げ、腹部を曲げ、背面を雌のほうへさし出す。もし雌が unresponsive なら、雄の求愛行動に無関心のままでいるか、その場を逃れるが、responsive なら、雄の背中にまたがり、背面をなめる。その時、雄はあとずさりして雌の生殖器をつかみ、交尾が行われる(北村・高橋, 1973)。種によって、細かい点での違いはあるにせよヤマトゴキブリで見られるような、雄が翅をあげ、雌が雄の背面をなめるという行動は、多くのゴキブリに

おいてもっとも共通にみられる。

ROTH と WILLIS (1952) は、チャバネゴキブリの配偶行動について、それまでに報告されていた観察を確認し、チャバネゴキブリにおいては、雌雄相互の触角の触れあい、雄に求愛行動を起こさせるのに重要であることを報告している。雄は触角の接触によって、雌雄の違いを認識しており、また、性的興奮をひき起こされている。雌の体から切り離れた触角でも、雄に翅あげ行動を起こさせることができるし、雌の身体からクチュラグリースをこすり取って雄に塗るとその雄は、他の雄を興奮させることから、チャバネゴキブリの雄は contact chemoreception によって、性の識別を行っていると考えられた (ROTH と WILLIS, 1954)。石井 (1972) は、チャバネゴキブリの雌雄成虫の触角の走査電子顕微鏡による比較を行い、両者の間に顕著な差がないことから雌の触角の物理性は否定できないが、化学物質が雄の翅あげをひき起こすと考えた。その後、VOLKOV ら (1967) は、雌を飼育した容器に入れたる紙をエーテル抽出し、精製したところ、雄に翅をあげさせる物質は三つの化合物の混合物であると報告した。西田らは、雌体表をヘキサソで洗浄して得た溶液を雄触角に塗りつけると、その触角は、他の雄に翅あげ行動をひき起こすことから、この検定法により、ヘキサソ抽出物を精製し、3, 11-ジメチル-2-ノナコサノンと 29-ヒドロキシ-3, 11-ジメチル-2-ノナコサノンが翅あげ行動をひき起こさせる成分であることを確認した (西田・深海・石井, 1974, 1975)。

ハイイロゴキブリの雄成虫も、翅あげ行動をすることが知られており、背腺から誘引物質が分泌される。雌がこの分泌物を摂取する際、雄にとって交尾に都合のよい位置になり交尾が行われる。ROTH 及び DATEO (1966) は、雄の虫体を塩化メチレンで抽出し、分画も行ったが、精製、単離に成功していない。我々の観察では、雄が翅をあげた時に雌が背腺分泌物をなめるばかりでなく、雄、幼虫はては混入したチャバネゴキブリまでがなめているのを目撃している。また、チャバネゴキブリのように雄が翅あげ行動をとる動機が雌とのアンテナの接触ではなく、今のところ、匂いによるのかまだ分かっていない。また、雄が翅をあげて求愛行動をとる時に、雌が反応しなかったり、交尾がうまくいかなかった時、雄は翅を下げ、触角や脚で雌にさわったり、雌から 2cm 以内の所

に立ち止り、摩擦音を発する。雌がじっとしている間は、音をたてるが、雌が動き始めると雄は摩擦をやめ、雌の前へ回って翅をあげる。雄は、前胸背板の後縁部の裏側にある約 4μ ずつ離れた約 40 の平行な溝と、覆翅の前縁脈の背側の基部に約 4μ ずつ離れた 400 本の垂直の溝とをこすりあわせて音を出す。雄の摩擦音に対して、雌がどのように反応するかについては、分かっていない。ハイロゴキブリの成虫は、雌雄ともに捕えた時にかなりの摩擦音をたてる。このように、多くのゴキブリで、種々の発音行動が知られているが、配偶行動に際して音を発するとみなされているのは、ハイロゴキブリと *Gromphadorhina portentosa* だけである。

以上、2, 3 の種について配偶行動のパターンを記載してきたが、多くのゴキブリについてみても幾つかのパターンに分類できる (第1表)。それらのパターンの一つ一つの要素に、ゴキブリ自身の分泌物が重要な役割を果たしている場合が多い。このような分泌物をすべて性フェロモンと呼ぶこともでき、ただ単に雌雄の間での誘引だけを司るのではなく、雌雄の生殖器の相対位置を適当に位置させるのを助けたり、なだめたり、興奮させたりするなどいろいろな場面で働いていることが分かる。

ワモンゴキブリの雄は、雌の発散する性フェロモンに感応すると、雌に近づき直ちに交尾器を接触させようとする。雌の分泌する性フェロモンが雄を刺激して誘引し特徴的な交尾行動をとらせるものの典型が、ワモンゴキブリに見られる。ワモンゴキブリの性フェロモンについては、多くの研究がなされているが、ここでは、我々の行った研究を中心に、ワモンゴキブリの性フェロモンが、雌によって造られるメカニズムと、分泌放出された性フェロモンが雄によって受容されるメカニズムについてまとめてみよう。

II ワモンゴキブリ性フェロモンの受容機構

昆虫は、匂いを受容器 (receptor) で捕え、受容器電位が発生し、神経を伝わる impulse という信号に変わり求心性神経を通して中枢神経系に到達する。ここで、

神経細胞の構成する複雑な情報処理機構に入り、調整されて、遠心性神経のインパルスとして、筋肉その他の効果器 (effector) に伝えられ特定の行動をひき起こす。性フェロモンに関する受容機構に関する研究は、特に鱗翅目昆虫について詳しく研究されている。それは、カイコガの性フェロモン (ボンピコール) が単離され、化学構造が解明され、幾何異性体も含めて合成もされているからである。その結果、外観的にも機能的にも雌雄のアンテナの形態に差異が認められ、雄の触角の毛状感覚毛に性フェロモン受容器が存在し、雌には、これが存在しないことが単一嗅覚受容器の神経活動の測定から判明した。

WHARTON らが、1954 年に発表したワモンゴキブリの求愛行動に関する研究が、おそらくこの性フェロモンに関する最初であろう。雌の飼育容器に入れたろ紙を雄に近づけると、雄は、激しく興奮する (WHARTON ら、1954)。しかも、この刺激の本体は、溶剤で抽出可能な化学物質でその匂い刺激を雄がアンテナで感知して興奮するものであることを認めている。雄の反応は、非常に強力で、特異な行動を示すのに雌にはなんら作用がないことから、アンテナにおける雌雄の受容機構について関心が持たれた。

ワモンゴキブリの性フェロモンに対する触角電図 (Electroantennogram, EAG) は、BOECKH, SCHNEIDER が JACOBSON により単離された性フェロモンを使い、既に誘引物質として知られている amyl acetate との比較において記録している。amyl acetate は、0.2 ml を使っても、雄アンテナの応答は 1 mV と弱いが、純粋な (と信じられていた) フェロモン 100 μ g で、雄アンテナの応答は、1.8 mV で、雌及び幼虫での応答は、その約 50% であった。これに対し、のちに WHARTON らは、自分たちで精製し、JACOBSON のサンプルよりも、はるかに純粋であると主張するサンプルを、同じ BOECKH らによって EAG の測定を行ったところ、雄のみのアンテナから応答が得られ、0.1 μ g で十分 1.8 mV の応答が得られた (BOECKH ら、1963, 1970)。そのため、アンテナの上には、鱗翅目にみられたように受容器の差異があ

第1表 ゴキブリの配偶行動のパターンの分類

1. 雄は雌のうしろから、あとざさりして交尾器をつかむ。 *Gromphadorhina portentosa*, *Panclora irrorata*, *P. nivea*
2. 交尾に先立って、雄が雌の上のり、雌の上から交尾器をつかむ。 *Pycnoscelus surinamensis*
3. 雄は翅をあげ、雌が背面をなめるとあとざさりして交尾器をつかむ。 *Blatta orientalis*, *P. japonica*, *Blattella germanica*, *Parcoblatta fulvescens*, *Blaberus craniifer*, *Byrsotria fumigata*, *Diploptera punctata*, *Leucophaea maderae*, *Nauphoeta cinerea*
4. 雄は身体を左右にふり、雌が背面をなめるとあとざさりして交尾器をつかむ。 *Eurycotis floridana*
5. 雄は雌に近づき直接交尾器をつかむ。 *Periplaneta americana*

るのか、あるいは、性フェロモン受容器は、他の匂いの受容器と同じなのか異なるのかという疑問が生じてくる。山田・石井・桑原 (1968) は、ワモンゴキブリ成虫の前頭部を用いて、気管系相をできるだけ除き、塩化カリ溶液を満したキャピラリーを脳に導入し、性フェロモン粗抽出物による刺激をアンテナに与えて、応答を測定した。その結果、中枢神経のなかに、性フェロモンに特異的に反応する部位が、雄、雌、幼虫のいずれもが中大脳に存在することを発見し、アンテナにおける受容器に差異がないというさきの BOECKH らの結果と一致していることを確認した。更に、嗅脳に性フェロモン神経が存在し、この神経細胞は、性フェロモンに特によく反応し、メチルエチルケトン、シクロヘキサノンなどには弱く反応するので、これを性フェロモンの“specialist”と呼び、一般に匂いに反応する神経細胞は性フェロモンには反応せず、他の匂い刺激に反応するので、“generalist”と呼んでいる。generalist は、種々の匂い刺激に対し、刺激的に反応したり、抑制的に反応したりする。もし、このように匂いの識別が、嗅脳で起こるならば、多くの匂い刺激を与えて、嗅脳中の神経細胞の反応スペクトルをみると、specialist では、似かよってくるはずである。性フェロモンとある種の匂い物質のみに specialist は反応し、しかも類似した反応を示した。一方、generalist では多くの匂い刺激に対し、類似した反応を示したものはなかった。嗅脳の段階で、匂い識別が行われているのなら、匂い特異性をもつたくさんの神経細胞があれば、それだけ多くの匂いを識別することができることになる。上述のように、性的刺激は、両性ともに受容しているのであるからそれが行動となって現れるためには、嗅脳と効果器の間での遠心性神経で識別が行われていることになろう。山田 (1975) は、最近ワモンゴキブリの一方のアンテナに匂い刺激を与え、他方のアンテナで遠心性神経の応答を記録するという実験を行い、プロピオン酸、ペンタノール、ユーカリプトールに対する応答はなかったと述べているので、これから更に検討する必要がある。

鷺尾・西野・都筑 (1975) は、ワモンゴキブリのアンテナを使い一連の化合物について EAG の測定を行っている。性フェロモンの粗抽出物は、雄のみに特異的に応答が生じ、行動による生物検定では、性フェロモン粗抽出物よりもずっと弱い反応しか示さない DL-bornyl acetate が、雄、雌ともに強い EAG の応答があると述べている。その他に、数種のモノテルペンで測定を行い、応答を与えたのは、borneol, nerol, citral, D-fenchone などで、-OH, >C=O を持つ化合物であることに注目しているが、化学構造と、EAG の応答の間の関連性は薄

いように思う (鷺尾・西野, 1976)。

BOWERS と BODENSTEIN は、植物成分で $C_{15}H_{24}$ という炭化水素が、ワモンゴキブリ雄に特異的に作用し、性フェロモンと同じような反応をひき起こす物質が存在することを報告したが、化学構造の同定は行われていなかった。我々は、ヒメジヨウ葉を抽出してこの物質がセスキテルペン炭化水素の germacrene D であることを確認し、やや不安定な化合物のため、単離が難しく、保存もできない (田原ら, 1975)。一方、西野・都筑は、セイタカアワダチソウから単離した T-cadinol がワモンゴキブリ雌雄成虫を興奮させる作用をもつことを発見した。このような物質の行動による生物検定と、EAG の測定を比較検討することは、ワモンゴキブリ刺激物質の構造と活性の相関関係及び種間における作用と活性の相関関係を調べる上で、意義がある。ヤマト、ワモンゴキブリ雌雄成虫による種々の植物由来の化合物に対しての興奮作用の生物検定ならびに EAG 測定の結果は、まとめて第 2 表に示した。

行動による生物検定で、強い活性のみられた性フェロモン抽出物と germacrene D はともに、ワモンゴキブリ雄成虫アンテナの反応も大きい。しかし、行動の生物検定で、弱い活性しか示さない DL-bornyl acetate は、強い EAG の反応がみられる。ワモンゴキブリ性フェロモンは、行動の生物検定で、ヤマトゴキブリ雄成虫に活性があったのに呼応して EAG 測定でも最も強い反応があるので、この 2 種の性フェロモンの関連性を示唆しているものと考えられる。また、ヤマトゴキブリ雄のアンテナは、同種の性フェロモンよりもワモンゴキブリ性フェロモンに強く反応することが分かる。その他のテルペン、セスキテルペン類では、行動による生物検定でなんら活性がみられなかったのと、同様に EAG における反応も特に目立ったものはなかった (川崎・北村・高橋)。

Germacrene D は、性フェロモンの受容機構を研究する上で、興味深い化合物である。行動の生物検定から分かるように、性フェロモンの作用とほとんど同じ作用をすることから性フェロモンの mimics として、性フェロモンの受容器に受け入れられ、求心性神経、中枢神経、遠心性神経のいずれかの過程で情報処理されて特異な行動となって表れるのかのいずれかであろう。性フェロモンに対する雌アンテナの反応が雄のその半分のくらいであることと平行し、他の化学物質に対する反応も弱いことが確認された。したがって雌雄成虫のアンテナは、性フェロモンも他の化学物質の匂いもすべて同じ受容器で受けとって、それを更に情報処理して特異な行動になって現れるものと考えている。しかし、形態上の差異がア

第2表 ワモンゴキブリとヤマトゴキブリ2種を用いた性フェロモン、テルペン、セスキテルペン類の生物検定及び触角電位測定

Compound	Behavioral Response					EAG Response (mV)				
	Dose ($\mu\text{g}/\text{plate}$)	<i>P. a</i> ♂	<i>P. a</i> ♀	<i>P. j</i> ♂	<i>P. j</i> ♀	Dose (mg)	<i>P. a</i> ♂	<i>P. a</i> ♀	<i>P. j</i> ♂	<i>P. j</i> ♀
<i>P. a.</i> extracts	0.1	卅	—	+	—	0.5	1.22	0.68	0.89	0.51
<i>P. j.</i> extracts	1.0	—	—	卅	—	0.5	0.50	0.33	0.47	0.40
germacrene D (g-D)	50.0	卅	—	卅	—	0.5	0.80	0.27	0.64	0.28
germacrene C	10,000	—	—	—	—	0.4	0.19	0.19	0.16	0.22
bicyclogermacrene	10,000	—	—	—	—	0.2	0.20	0.26	0.19	0.37
g-D H ₂ product	10,000	—	—	—	—					
β -farnesene	10,000	—	—	—	—	0.4	0.16	0.23	0.15	0.19
humulene	10,000	—	—	—	—					
β -caryophyllene	10,000	—	—	—	—					
DL-bornyl acetate	10,000	+	—	—*	—	0.5	0.91	0.65	0.78	0.55
α, β -santalol	10,000	—	—	—*	—	0.5	0.27	0.17	0.20	0.19
α -cadinol	10,000	—	—	—*	—	0.5	0.14	0.15	0.16	0.18
T-cadinol	10,000	—	—	—*	—	0.5	0.43	0.44	0.47	0.48
δ -cadinol	1,000	—	—	—	—					

* 数匹がランダムな動きをみせた。+, 卅, 卅: 性フェロモン生物検定の基準と同じものを用いた。

ンテナに発見され、例えば、単一嗅覚細胞による応答を測定できるようになれば、この点が解明されるであろう。

III ワモンゴキブリ性フェロモンの生産部位

1952年に、ROTHとWILLISが、ワモンゴキブリの処女雌の飼育容器から取り出したろ紙が雄を興奮させ、交尾行動を起こさせることを観察したが、交尾した雌あるいは老齢な雌の飼育容器からのろ紙は全く雄を興奮させることはなかったと報告した(ROTH・WILLIS, 1952)。また、配偶行動における雄の行動は非常に直接的で、アンテナを激しく動かして、性フェロモンを感知し、走り回り、翅を広げてばたつかせつつ腹部末端をつきだして交尾を試みると述べている。WHARTONとWHARTON(1957)は、このような雄の反応のうちでも特に明確な翅のばたつきを指標にして、性フェロモンの生物検定を行いそれによって性フェロモン生産の変動を調べた。その結果、雌の終齢幼虫は、成虫脱皮の2か月前には、性フェロモンを生産し、そのあと脱皮の前後では生産せず、脱皮後1週間たつと、生産が復活する。その後、生産量は高まり、2週間目で頂点に達し、性フェロモン活性は、徐々に弱くなり30週続き、更にそのあと弱いながらも活性は残っていて、40週ぐらいまで続くことが報告されている。ここで特に注目に価することは、幼虫期で、脱皮2か月前に性フェロモン活性を示すということである。また、交尾した雌は、性フェロモン生産量の減少が速く、その代わりに卵鞘の生産数がおおよそ倍増し、特に若い雌に増加が目立った。しかし、交尾がどうして性フェロモン生産を減少させ、卵鞘数を増加させるかという機構は

解明されなかった。これに関連して、ENGELMANN(1960)は、羽化後1日目のマデラゴキブリのアラタ体を摘出すると交尾しないことを認めた。しかし、終齢幼虫のアラタ体を移植すると交尾が可能となる。また、BARTH(1961)は、キューバゴキブリの雌の容器の中に入れたろ紙は雄を刺激し興奮させるが、羽化後1~3日目の雌のアラタ体を切除すると、その中のろ紙は、雄を刺激することがない。しかし、その後8~10週目にアラタ体を移植したところ6匹の雌のうち2匹が16日後に性フェロモンを分泌し、そのうち1匹が交尾した。更に、BARTHとLESTERは、ワモンゴキブリの性フェロモンの生産も、幼若ホルモンの支配を受けていて、アラタ体を摘出した雌は、性フェロモンを生産せず、これにセクロピア蚕の幼若ホルモンを約1 μg 注射すると、1週間後に生産することを認めている。

このように、ゴキブリの性フェロモン分泌は、雌の容器の中に入れたろ紙に活性があることから確認されたが、どこで生産され、どのように発散されているのかは、解明されていない。JACOBSONとSMALLS(1966)は、ワモンゴキブリ雌の虫体を抽出、分画し、生物検定による活性の比較を行った。14~18日目の成虫をブレンダーで磨砕し、ヘキサン、ベンゼン、エーテル、アセトン、95%エタノールで、それぞれ別個に抽出し、ろ過後、生物検定したが、活性は認められなかった。虫体のエーテル抽出物及びアセトン抽出物のみが、シリカゲルカラムの10%エーテル-ヘキサン溶出部に活性が現れた。このことから、ヘキサン、ベンゼン、95%エタノールの抽出物は、シリカゲルカラムで精製しても活性がなかったことか

ら、これらの抽出には、遮蔽物質 (masking substance) が混在するために不活性なのだと説明したが、その本体は明らかにされなかった。このことが示しているように、虫体の抽出は、必ずしも性フェロモン活性の試料を与えるとは限らない。

生産部位について、STÜRCKOW と BODENSTEIN (1966) は、雄、雌の頭部を切り取って、ガラス棒につけて雄に与えると、これに反応し交尾行動をとることを観察し、その他には、幼虫の体表も弱いながら活性があり、特に頭部が強いが体表全般から分泌されていると考えた。そのため、この物質は、性フェロモンというよりも性刺激物質と呼ぶほうが適当であろうと発表した。しかし、1970年には、前説を覆えし、2~3日目の雌で十分活性なものがある。9~11日目の糞の活性が高いことを報告している (BODENSTEIN, 1970)。3週間から3か月までの雌は、嗦嚙、胃盲嚙、中腸、後腸の抽出物が活性高く、特に嗦嚙に餌が入っている時に活性が高い。一般的にいて、4~9日目の雌は、嗦嚙、中腸に活性があり、中腸が最も強いと述べている。しかし、活性のある中腸とない中腸の光学顕微鏡での観察では差異は認められなかった。

このようにして、生産部位は、消化管の一部に存在するらしいということが示唆されたが、腹部あるいは消化管の抽出物が必ずしも容易に性フェロモン活性を示したわけではなく、その上、組織学的な証明の決め手がなかった。

RAISBECK (1972, 1975) は、ワモンゴキブリ雌の性フェロモン活性のある消化管を組織培養で数週間培養できるが、この間に性フェロモン活性が消失することを見いだした。ろ紙から抽出したフェロモンとともに切除した中腸を加え生理食塩水とともに保持しておく、不活化がおこることから中腸に不活化因子が存在していることが分かる。この因子は、80°C、15分で失活してしまうことから酵素であろうと考えられ、幼虫、雄の中腸、交尾した雌の中腸にも存在する。また、ミクロゾーム酸化酵素の inhibitor として知られている piperonyl butoxide によっても失活することが認められている。フェロモンを生産しない雄の中腸にもこのような不活化酵素が存在することは、理解しにくいことであるが、性フェロモン前駆物質が、この酵素の正常な基質であると考えれば、理解することができる。いままでの実験では、雌の中腸抽出物で活性のあるものとなないものがあるが、時期による違いか、不活化されたか、遮蔽されたかのいずれかと考えられる。

BODENSTEIN は、雌の中腸でフェロモン活性のあるものとなないものについて、光学顕微鏡で調べたところ差異

は認められなかったと述べているが、その固定法、染色法については触れていない。我々は、常法に従って、Bouin 固定、ヘマトキシリン-エオシン染色を行って観察したが、なんら雄、雌、性フェロモン活性のあるもの、ないものに差異は認められなかった。この方法では、脂質様物質の検出には適していないので、当然の結果であろう。そこで、osmium を含有する Champy の固定液で固定し、Mallory 染色を行ったところ性フェロモン活性のある雌の中腸に黒い顆粒が出現することが観察された。これは、雄、若い雌の中腸には全く認められなかった (口絵写真参照)。

ワモンゴキブリは、実験用昆虫として非常に一般的なもので、中腸の組織、微細構造についてはよく調べられているはずである。COUCH と MILLS (1968) は、中腸表皮細胞の分泌顆粒の増減と酸性ホスファターゼ活性に対する絶食の影響の関連性について調べた。それによると、絶食4日目の中腸が酸性ホスファターゼ活性が最高で、このときに自己貪食液胞の頻度も最高となる。我々は、電子顕微鏡で、中腸の表皮細胞の観察を行ったところこのような液胞を認めているが、おそらく COUCH と MILLS の報告した液胞に相当するものであろう。しかも、この液胞は、雄、若い雌には全く認められていない。彼らの報告では、雌のみを使用して実験しており、全く雄を使っていない。酸性ホスファターゼ活性ないしは、消化酵素との関連性を見るならば、この液胞出現の頻度は、雌雄で大差はないはずである。我々が観察した液胞には Myeloid 構造が認められるので、なんらかのリピド代謝に関連した機能を持つものであることがうかがわれる (口絵写真参照)。しかし、光学顕微鏡で観察した親オスミウム性の顆粒と、電子顕微鏡で認められた Myeloid 構造を持つ液胞が対応するものであるという証明がない。

中腸が生産部位であろうという説は、これでかなり固まってきた。中腸で生産され肛門から発散されることが考えられるが、性フェロモンは、必ずしもいつも糞とともに排泄されているのではない。ワモンゴキブリ雌を羽化後底に金網を敷いた容器で、壁面にはろ紙を貼って飼育し、ろ紙、糞のフェロモン活性を毎日調べた。その結果、ろ紙が10日目から強い活性を示したにもかかわらず、糞は15日目まで活性を示さなかった。一方、ゴキブリはピンセットでつかんだりすると、特有の臭気を持つ柔らかい糞を噴射する。これをガラス棒に受けてすぐ活性を調べると、ろ紙の抽出物より少しおそい13日目から活性の強いことが明らかとなった。このことは、正常に排泄される糞よりは、噴射された糞に強い活性があり、生産開始直後ろ紙に吸着されるフェロモンは、なん

らかの方法で肛門から発散されているものと考えられる。しかし、これを支持するいわゆる“コーリングポーズ”が観察されていない。体表の性フェロモン活性は、二次的に汚染されたものであり、体表からの分泌ということは考えにくい (TAKAHASHI ら, 1976)。

消化器系統あるいは、それに付随した器官からフェロモンが分泌されていることが確認された例は、2, 3の昆虫で既に知られている。例えば、チャバネゴキブリの集合フェロモンは、レクタムパッドで分泌され、糞とともに排泄されるものと考えられている。キクイムシの類も、後腸から分泌した物質を集合フェロモンとして利用していると考えられているが、決定的な証明がなく、アリ、シロアリなどでは、階級分化、道しるべフェロモンが後腸付近で分泌されているという報告も知られている。性フェロモンが肛門から発散されている例は、クインスランドミバエ (*Dacus tryoni*) の雄にみられる。顕著に発達した付属分泌器官が後腸に開口している。このように、本来の機能が、フェロモン生産でない部位で、生産されているのは、そんなにまれではない (PERCY and WEATHERSTON, 1974)。したがって、ワモンゴキブリないしは *Periplaneta* 属の雌は、羽化後一定期間に、中腸で生産した性フェロモンを肛門から発散し、これがろ紙に吸着され、また、腸管内で糞に付着し、排泄されると考えられる。

おわりに

鱗翅目昆虫、例えば、カイコヤスジマダラメイガなどで知られているように、成虫期間の短い鱗翅目昆虫などでは、蛹の時から雌は既に性フェロモンを体内に蓄積しており、羽化後、放出し続けることが知られている。一方、ゴキブリのように成虫期間の長い昆虫では、性フェロモンの生産はアラタ体の支配を受けており、周期性を持っていることは、既に述べたとおりである。

ワモンゴキブリの雄は、雌から1か月以上隔離しておくこと、性フェロモンに対する反応性が増大すること、雌雄ともに飼育している容器に入れたろ紙も糞も全くフェロモン活性を示さないことの2点から、集合して生活している屋内性のゴキブリにおいて、配偶行動に性フェロモンが一義的な役割を果たしているとは考えにくいものが多い。したがって、今後、生態学的な観察を組み合わせ

せることによって、集団の中での配偶行動、性フェロモンの役割の究明が興味を呼ぶところである。

引用文献

- BARTH, R. H. JR. (1961) : Science 133 : 1598~1599.
 BOECKH, J. et al. (1963) : ibid. 141 : 716~717.
 ——— et al. (1970) : ibid. 168 : 589.
 BODENSTEIN, G. (1970) : Ann. Ent. Soc. Amer. 63 : 336~337.
 BOWERS, W. S. and W. G. BODENSTEIN (1971) : Nature 232 : 259~261.
 COUCH, E. and R. MILLS (1968) : J. Insect Physiol. 14 : 55~62.
 ENGELMANN, F. (1960) : Experientia 16 : 69~70.
 ISHII, S. (1972) : Appl. Ent. Zool. 7 : 226~233.
 JACOBSON, M. and L. A. SMALLS (1966) : J. Econ. Ent. 59 : 414~416.
 KAWASAKI, K., C. KITAMURA and S. TAKAHASHI : in preparation.
 KITAMURA, C. and S. TAKAHASHI (1973) : 昆虫 41 : 383~388.
 NISHIDA, R. et al. (1974) : Experientia 30 : 978~979.
 ——— et al. (1975) : Appl. Ent. Zool. 10 : 10~18.
 PERCY, J. E. and J. WEATHERSTON (1974) : Pheromones (M. C. BIRCH ed.) 11~34.
 RAISBECK, B. (1972) : Nature 240 : 107~108.
 ——— (1975) : J. Insect Physiol. 21 : 1141~1149.
 ROTH, L. M. and E. R. WILLIS (1952) : Amer. Midland Naturalist 47 : 66~129.
 ——— (1954) : Smithsonian Misc. Coll. 122 : 1~49.
 ——— and G. P. DATEO. (1966) : J. Insect Physiol. 12 : 255~265.
 STRÜRCKOW, B. W. and G. BODENSTEIN (1966) : Experientia 22 : 851~853.
 TAHARA, S. et al. (1975) : Agr. Biol. Chem. 39 : 1517~1518.
 TAKAHASHI, S. et al. (1976) : Appl. Ent. Zool. 11 : 215~221.
 VOLKOV, YU. P. et al. (1967) : Med. Parazit. Parazit. Bolez 36 : 45~48.
 鷲尾 宏ら (1975) : 応動昆 19 : 218~220.
 WASHIO, H. and C. NISHINO (1976) : J. Insect Physiol. 22 : 735~741.
 WHARTON, D. R. A. et al. (1954) : J. Gen. Physiol. 37 : 461~469.
 WHARTON, M. L. and D. R. A. WHARTON (1957) : J. Insect Physiol. 1 : 229~239.
 YAMADA, M. et al. (1968) : 防虫科学 33 : 37~39.
 ——— (1975) : 同上 40 : 94~96.

鱗翅目昆虫の性フェロモンの拡散と雄成虫の誘引

農林省農業技術研究所 ^{なか}中 ^{むら}村 ^{かず}和 ^お雄

はじめに

鱗翅目昆虫の雌成虫が放出する性フェロモンによる雄の定位と誘引機構の問題は、フェロモントラップの効率を考える際にも、性フェロモンを用いて雌雄間の交信を困惑させようという際にも、必ず明らかにしておきたいものの一つである。しかし、現在のところ誘引機構について確実に証明されている例はなく、幾つかの説が提出されている段階である。ここでは、誘引機構に関する問題を概観し、鱗翅目昆虫の一例としてハスモンヨトウの誘引機構解明のための一つのアプローチを紹介しよう。

I フェロモンの拡散

性フェロモンによる誘引機構を解明しようとするとき、まず明らかにしなければならないものは、フェロモンの拡散の問題である。一般に空気中におけるガスの拡散の問題は、古くから微気象学で取り扱われてきた。フェロモン分子の拡散もこれらの理論が適用されるが、昆虫の個体間の交信の媒体としてのフェロモンの拡散について、理論的な考察を行ったのは BOSSERT and WILSON (1963) が最初であった。彼らは、アリのトレース・フェロモンや、警戒フェロモンなどの拡散とともに、鱗翅目昆虫の性フェロモンのように、点源から一定の風速を持つ空気中に放出されたフェロモンの拡散の問題を扱った。

今、 x, y, z 軸で表される三次元空間を考え、この空間の原点 ($x=y=z=0$) である地表面にフェロモン源が置かれているとする。一定の風速 u cm/sec を持った風が、連続的に x 軸のプラスの方向に吹いており、フェロモン源は一定の放出速度 Q mol/cm³/sec でフェロモンを放出し続ける。フェロモンの拡散が SUTTON (1953) の拡散の式に従うとすると、点 (x cm, y cm, z cm) におけるフェロモン濃度 U mol/cm³ は、

$$U = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} e^{-x^{n-2}(y^2/C_y^2 + z^2/C_z^2)} \quad (1)$$

で与えられる。ここで、 n は大気の安定度に関係した定数、 C_y, C_z は地表面のあらさなどに関係した定数である。SUTTON (1953) によれば、平坦な草地では $n=1/4$, $C_y=0.4$ cm^{1/8}, $C_z=0.2$ cm^{1/8} が良いという。

次に、雄成虫は、あるいき値 K mol/cm³ 以上の濃度

のフェロモンに出合ったとき、これを感じてフェロモン源に誘引されると考える。このとき、いき値の濃度 K における面は、(1) 式の U を K でおきかえて、

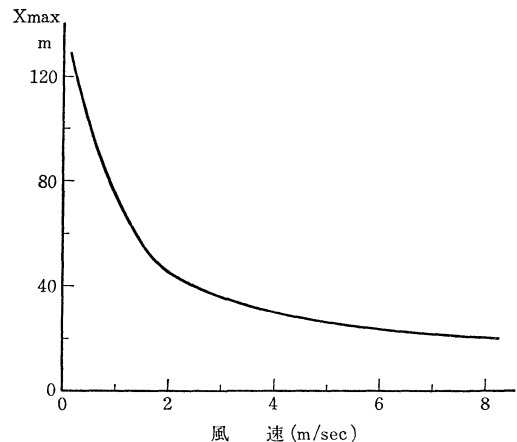
$$K = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} e^{-x^{n-2}(y^2/C_y^2 + z^2/C_z^2)} \quad (2)$$

で与えられる。仮定からこの空間内に入った雄成虫はすべてフェロモン源に誘引されるから、この空間を誘引の有効範囲と呼ぶことができる。この有効範囲の風下側における最長距離は

$$X_{\max} = \left(\frac{2Q}{K \pi C_y C_z u} \right)^{1/(2-n)} \quad (3)$$

で与えられる。

(3) 式から明らかのように、有効範囲の最長距離は風速 u の関数であって、 u が大きくなるほど小さくなり、 u が小さくなるほど大きくなって、 $u=0$ で $X_{\max}=\infty$ になってしまう (第1図)。しかし、これは実際には起こり得ないことであって、(1) 式は (したがって、それから導かれた (3) 式も)、ある程度以上の風速があるときにのみ成り立つ (PASQUILL, 1962)。



第1図 (3)式に基づく風速と有効範囲の最大距離との関係 (ハスモンヨトウの処女雌1匹をフェロモン源とした場合を示す)

次に、フェロモン源から x 軸のプラスの方向に向かう濃度勾配は、(1) 式を x について微分して、

$$\frac{dU}{dx} = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{3-n}} \quad (4)$$

である。BOSSERT and WILSON は、マイマイガの X_{\max} における濃度勾配を、この式から $\frac{dU}{dx} \Big|_{X_{\max}} = 2.50 \times 10^{-4} \text{ cm}^{-4}$ と求めた。この値を U に対する比率で表すと、 1.3×10^{-6} であって、雄が 1m 飛しょうする間に遭遇する濃度の差は、たった 0.013% であることを意味する。これはあまりにも小さな値であるから、彼らはマイマイガの雄がフェロモンの濃度勾配を検出して、それによって誘引源に近づくことはあり得ないと結論した。

ところで、(1) 式はフェロモン分子は一様なブルーム状に広がることを示すが、実際には環境流体中の乱れのために、多くの曲がりくねったフィラメントの集合として拡散しているであろう (大久保, 1975)。BOSSERT たちの扱った理想化された状態と現実とのずれは、雄の誘引に対しても大きく影響してくる可能性があるが、それを扱った研究はまだなされていない。

II 誘引の有効範囲

雌成虫の交尾率もフェロモントラップの誘殺数も有効範囲に大きく依存するが、それを正確に推定することはやさしいことではない。しかし、幾つかの昆虫において有効範囲の最大距離が求められている (下表)。その方法は、実験室内で得られた Q , K の値を BOSSERT and WILSON 式にあてはめたもののほか、観察によるもの、雄が性フェロモンに対して反応を示す距離に基づくものなど、種々の方法がとられているが、はたしてこれらの値が有効範囲の最大距離を正しく表しているかどうかは速断できない。しかし、この点を一応おいて表を見ると、マイマイガで求められた値を除けば、有効範囲の最大距離はいずれも数十 m 以下であることが分かる (マイマイガの値は、2.3 マイルの遠方から放した雄が処女雌トラップに捕獲されたというデータに基づいて計算されたものであるから、これは有効範囲を表すものとは考えられ

ない)。このことから、以前考えられていたように、雄は何 km もの遠方からフェロモンを感じて雌に近づくといいのではなく、実際には雌を探索して飛しょうしている雄が比較的せまいフェロモンの有効範囲に入ったとき、雌に誘引されるものと考えられる。

III 誘引の機構

フェロモンの有効範囲内に入った雄がどのような機構によって雌に達するのかは、いまだはっきりしたことが分かっていない。考えられる機構の第 1 は、濃度勾配の高いほうへ飛しょうして、フェロモン源に達するというものである。しかし、これは BOSSERT and WILSON (1963) の計算でも示されたように、雌のごく近くを除けば勾配は非常に小さく、大気の乱れに完全に打ち消されてしまうであろう。したがって、遠方から濃度勾配に従って誘引されると考えるのは無理である。しかし、フェロモン源に向かって飛しょうしてくる昆虫が遭遇した濃度を累積して比較できると考えると、濃度の低い範囲に入った昆虫は濃度の高い範囲にもどること (chemoklinotaxis) によって、数 m あるいは数十 m 先からも雌に近づくことは可能である。

第 2 の考えは、いき値以上のフェロモン濃度にさらされると、昆虫は正の走風性が誘起されて、風上にいる雌に到達するというものである。多くの昆虫で、正の走風性によって雌に近づくことが観察されたり、実験的に確かめられており (例えば、DATERMAN, 1972)、この場合も匂いのブルームからはずれた雄は、円運動をしてまたブルームにもどることが観察されている。しかし、フェロモンの流れと風の流れとを分離することはできないから、はたして正の走風性のみに基づくものかどうかの証明はないといって良い。

第 3 の機構として考えられるものは、トレース・フェロモンに従って進むアリのように、2 個のアンテナに感じ

鱗翅目昆虫における有効範囲の最大距離 (玉木・中村, 1976)

昆 虫	フェロモン源	X_{\max}	方 法
マイマイガ	1♀ 1♀	$u=100$ のとき 4,560 m ¹⁾ 30 paces 以上 ²⁾ 48m ³⁾	BOSSERT & WILSON 式から 観 察
イラクサキンウワバ	フェロモン 25mg 1♀	$u=50$ のとき 20m ⁴⁾ 3m ⁵⁾	♂ の反応距離から BOSSERT & WILSON 式から 観 察
アメリカシロヒトリ	♀ 数匹 1♀	$u=130$ のとき 62m ⁶⁾ 2~3m ⁷⁾	マーク虫の捕獲から 観 察
ハスモンヨトウ	フェロモン 1mg 1♀	30m 以下 ⁸⁾	トラップへの誘引から

1) BOSSERT and WILSON (1963), 2) DOANE (1968), 3) KISHABA et al. (1970), 4) SOWER et al. (1971),

5) HIDAKA (1972), 6) NAKAMURA and KAWASAKI (準備中), 7) 日高ら (1976), 8) MILLER and McDougall (1973).

る匂いの濃度を比較し、濃度の高いほうに進む (chemotropotaxis) ことによるというものである。その結果、昆虫はジグザグ運動をしながらフェロモン源へ向かう。実際、多くの鱗翅目昆虫の雄は、ジグザグ運動をしながら雌に近づくことが知られている。FARKAS and SHOREY (1972) は、ワタアカミムシを用いて、風洞の中にフェロモンのプルームをつくり、風を止めたのちに雄を“風下”側から放して飛しょうを追った。その結果、雄はプルームにそってジグザグ運動をとって、フェロモン源に到達することが確かめられた。このことから彼らは、雄はプルームの中をある角度を持って横切り、フェロモンのフィラメントに遭遇する頻度が減少すると、プルームの中心にもどるといふ説を立てた。その後、SHOREY and FARKAS (1973) は、フェロモンをろ紙上にぬって道をつくり、翅を切り取った雄を放すと、雄はちょうどアリのように、このフェロモンの道にそって動くことを確かめている。

誘引の機構については以上のような説が出されているが、実際には雌からの距離によってこれらの機構が別々に働いていることも考えられる。TRAYNIER (1968) は、スジコナマダラメイガを用いて風洞内で実験した結果、次のような事実を明らかにした。すなわち、初めランダムに走行していた雄は、やがて風上に向かう。その後風上に向かって飛しょうを開始し、雌に近づくにつれて匂いのプルームを横切るようになって、もし匂いを失うとまたもとにもどる。こうして、雌の近くにくと、恐らく視覚によって雌を感知して飛しょう速度を弱め、交尾行動に入るといふ。多分、多くの昆虫が類似の行動をとっているものと思われる。

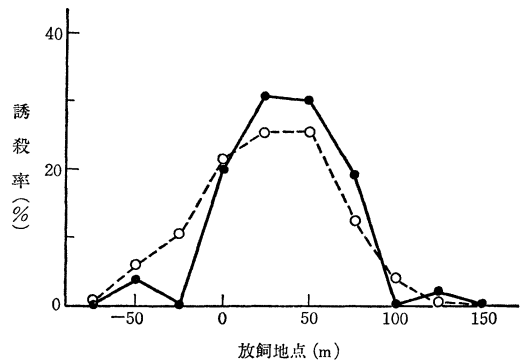
IV ハスモンヨトウにおける誘引モデル

我々は、ハスモンヨトウのフェロモンの有効範囲を知ることができれば、合成フェロモンを用いて大量誘殺法を行う場合に、必要とするトラップの数とその配置を決めることができると考えた。しかし、有効範囲の推定という問題は、当初考えていたよりもはるかに難しく、それはまた必然的に誘引機構の問題へと入って行くことになった。この研究は、まだその緒についたばかりであるが、我々のとったアプローチを紹介し、今まで解明することのできた点を述べたいと思う。

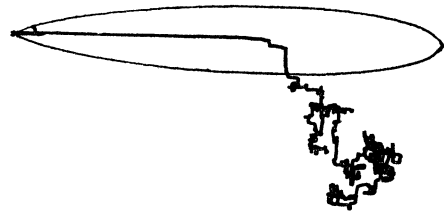
フェロモンの有効範囲を知る方法として考えられたのは、マークした雄をトラップからの距離を変えた数地点から放し、トラップで捕獲するものである。ここでまず問題になったのは、放してからいつまでに誘殺された雄をデータとして使えば良いかということである。予備実験の結果、夕方雄の誘殺が始まってから 30 分間のデー

タを用いることにした。

こうして得られた一例が、第 2 図である。これは処女雌 1 匹をフェロモン源に用いたもので、平均風速 130 cm/sec、風向は放飼点を通る線にほぼ一致していた。さて、ここで得られた誘殺率の曲線は、有効範囲と 30 分間の雄の飛しょう距離との総合であろう。そこで、この曲線から有効範囲を求めるために、シミュレーション・モデルをつくって、雄を放し捕獲するという操作を計算機にやらせることにした。モデルの基礎になった仮定は、①フェロモンの拡散は (1) 式に従う、②雄は有効範囲外にいるときはランダム飛しょうをする、③有効範囲内に入ると、濃度の高いほうに移動してフェロモン源に達する、というものである (第 3 図)。しかし、ここでは、フェロモンの放出速度 Q もいき値の濃度 K も分かっている



第 2 図 ハスモンヨトウの処女雌 1 匹を誘引源に用いたときの放飼した雄の誘殺率 (横軸の 0m の地点にトラップがあり、プラスの方向が風下側である。黒丸は実験結果を、白丸はモデルによるシミュレーションの結果を示す)



第 3 図 シミュレーション・モデルによって雄を飛しょうさせた例
楕円で示される有効範囲の左端に雌がおり、風が左から右に向かって吹いている。有効範囲の外にいる雄はランダムに飛しょうするが、有効範囲内に入るとフェロモン濃度の高いほうへ進む。

ないので、有効範囲を求めるためには、(2)式の両辺を Q で割って二つのパラメータを一つのパラメータ K/Q に減少させた。このモデルを使って任意の値を K/Q に入れ、実験と同じ距離から雄を放して誘殺率を得た。次にまた別の値を K/Q に入れて、同じ操作を繰り返した。こうして、実験値とシミュレーションから得られた値の差が最も小さくなったときの値として、 $K/Q=0.126 \times 10^{-7}$ が得られた。

第2図にこのときのシミュレーションの結果を示す。また、(3)式から有効範囲の最長距離は $X_{max}=62m$ と求められた。このときの風速 u に対する X_{max} を示したのが第1図である。続いて異なった風速下で、異なった強さのフェロモン源について得られた実験結果を同じモデルにあてはめた結果、風速が強いときは良くあてはまることが分かった。しかし、風速が弱いときは大きく違いが生じた。この原因は、別の実験結果から(NAKAMURA, 1976)、風速の弱いときはフェロモン分子の沈着が強く働いたためであると考えて、(1)式にこの効果を入れて変形した。その結果、風速が弱いときから強いときにわたって、このモデルでハスモンヨトウの有効範囲が表せることが分かった。

次に合成フェロモンを用いて同様な実験を行った。ハスモンヨトウの性フェロモンは、主成分である *cis*-9, *trans*-11-tetradecadienyl acetate (TDDA) (A成分)とそれに微量の *cis*-9, *trans*-12-TDDA (B成分)が共力的に働いている(TAMAKI et al., 1973)。そこで、ここで得られた有効範囲が、この二つの構成成分のうちのどちらによって決定されているのかを知ろうとした。このために、B成分の濃度を一定にしA成分の濃度を変えた混合物をフェロモン源として使って、誘殺率の曲線を得た。この結果、フェロモンの放出速度 Q にAの濃度を与えた場合、シミュレーションの結果は実験結果に良くあてはまった。このことから、ここでいう有効範囲はA成分によって決定されていると結論づけられた。

一方、B成分が加わらないと誘殺数は非常に減少することが知られている(YUSHIMA et al., 1974)。B成分は誘引にとって、どういう役割を持っているのであろうか?。これを確実に証明するデータは今のところないが、BはAよりフェロモン源の近くにしか拡散しないことが見られており(NAKAMURA, 1976)、雌の近くにきた雄を雌に導くのになんらかの役割をはたしているのではないかと想像される。

ところで、有効範囲内に入った雄がすべてフェロモン源まで誘引されるのではない。シミュレーションの結果と実験結果との比較から、有効範囲にいったん入った雄のうち誘引される雄は最高でも50~60%であった。しかもそれは、フェロモン量によって変わり、フェロモン量の増加に伴って増加し、ある量以上では最大値に達した。この結果は、本種の誘引機構を解明する上に重要な資料となりそうである。また、平野(1976)は、8個のトラップを風向と同じ方向に50m間隔で並べて誘殺を行ったところ、常に両端のトラップの誘殺数が最も高く、中央に行くほど減少するという結果を得た。この結果も誘引機構を知る上に重要な手がかりを与えてくれると思われる。現在、これらを基にしてシミュレーション・モデルによる解析が進められている。

引用文献

- BOSSERT, W. H. and E. O. WILSON (1963): J. Theor. Biol. 5: 443~469.
 FARKAS, S. R. and H. H. SHOREY (1972): Science 178: 67~68.
 平野千里 (1976): フェロモン利用に関する試験成績—1975— 日本植物防疫協会, p. 83.
 NAKAMURA, K. (1976): Appl. Ent. Zool. 投稿中.
 大久保 明 (1975): 生態学と拡散, 築地書館, p. 217.
 SUTTON, O. G. (1953): Micrometeorology, McGraw-Hill, 333 pp.
 TAMAKI, Y. et al. (1973): Appl. Ent. Zool. 8: 200~203.
 TRAYNIER, R. M. M. (1968): Can. Ent. 100: 5~10.

次号予告

次11月号は下記原稿を掲載する予定です。

アワヨトウの発生生態	田中 章
ヤノネカイガラムシの生態	是永 龍二
フザリウム菌の厚膜胞子の発芽促進物質	岡崎 博
カキの汚染果の種類とその原因	田中 寛康
トサブンタンの訪花昆虫による傷害とその対策	川村 満

ワタコナジラミで媒介されるトマト黄化萎縮病

尾崎 武司

農耕地のネズミ類の生態と発生予察 水島 俊一
 植物防疫基礎講座

ハスモンヨトウの大量飼育法 小山光男・釜野静也

定期購読者以外の申込みは至急前金で本会へ

頒価改訂 1部 300円 送料 29円

昆虫性フェロモンの害虫防除への利用

農林省農業技術研究所 なかむら かずお たまき よしお
 中村 和雄・玉木 佳男

I 性フェロモンによる防除

雌の誘引性を利用して害虫を防除しようという考えは、決して新しいものではないであろうが、実際に防除の可能性が論じられるようになったのは、1960年代になってからであった。それは、1960年 JACOBSON らによってマイマイガの性フェロモンとして、ジプトールが単離・同定されたことに端を発した。また、時を同じくして殺虫剤抵抗性の問題や農薬による生態系攪乱や環境汚染の問題が大きく注目され出し、殺虫剤防除にかわる新しい防除法として、性フェロモン利用による防除がクローズアップされてきた。こうして、CARSON は1963年、「沈黙の春」において、誘引物質の使用は、「他の生物と我々の地球を分かち合うための問題への新しい、想像力に富んだ、創造的な接近法である。」と述べた。また、WRIGHT (1964) は、性フェロモンによる防除は殺虫剤による防除と違って、①抵抗性が発達しないこと、②害虫の密度が低いほど効果が高いこと、で優れていることを強調した。

その後、農業による環境汚染の問題が大きく社会問題化するとともに、従来の農業中心の防除法への反省から、害虫の密度をむやみやたらに減少させるよりも、我々にとって好ましい密度に保とうという害虫管理の概念が発達してきた。そのためには、一つの防除法にのみよるのではなく、生物的な、化学的な、物理的な様々な防除法を統合させていこうという総合防除への考えへと発展した。70年代に入ると、種々の昆虫で性フェロモンの分離・同定が行われ、性フェロモンによる防除も総合防除のための一手段としての認識のもとに、広範な研究や防除試験がなされつつある。以下、性フェロモン利用による防除の理論を考え、今までに行われてきた防除試験を概観し、今後の発展のために必要な問題を考えてみたいと思う。

II 害虫発生調査への利用

1 フェロモントラップの特色

性フェロモン利用の害虫防除としてまず考えられるのは、直接の防除ではないけれども、フェロモントラップを用いて害虫の発生時期や発生量を知ろうという、いわばモニタリングへの利用である。この利用形態は、誘ガ

燈や糖蜜誘殺による場合と本質的には異ならないが、性フェロモンのみに付随した幾つかの特色がある。

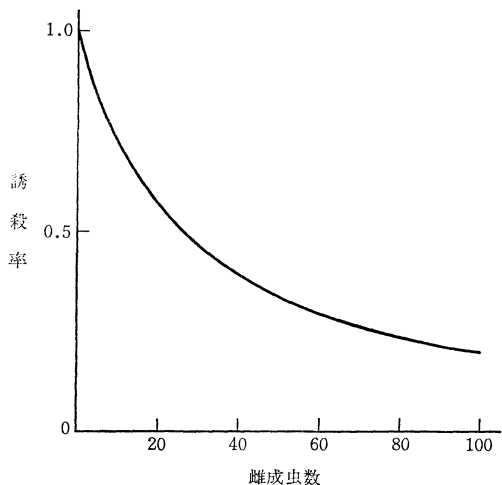
その一つは、性フェロモンの作用が種特異的であることで、これはモニタリングの手段として有利なことが多い。第2の特色は、性フェロモンが昆虫の配偶行動に関与する物質である点からもたらされるもので、野外に生息する雌とフェロモントラップとが雄をめぐって競合する現象である。この点に関係して KNIPLING and McGUIRE (1966) は、野外雌の数を S 匹、トラップに用いた処女雌の数（あるいは、雌の数で表した性フェロモン量）を V_0 匹とすると、野外の雌に誘引される雄成虫の割合 P は、

$$P = \frac{S}{V_0 + S} \quad (1)$$

で表せると考えた。この式は、野外雌とフェロモントラップとの競合を必ずしも正しく表しているとはいえないが、一応この式に従えば、野外に生息する雄のうちトラップに誘殺される雄の割合 P_T は、

$$P_T = \frac{V_0}{V_0 + S} \quad (2)$$

となる（玉木・中村、1976）。この式から明らかなように、 P_T は V_0 が一定ならば、 S が小さいほど大きく、 S が大きいほど小さくなる（第1図）。すなわち、捕獲される雄の割合は、野外雌の数に大きく依存するわけだ



第1図 トラップ数 $V_0=25$ のときの雌成虫数と誘殺率の関係

ある。このことは、フェロモントラップへの誘殺数と野外に生息する成虫数との間の関係は、一次回帰では表せないことを意味する。また、野外雌数の少ないときには P_T は大きくなることから、害虫の発生の初期や侵入害虫の検出などに対して、フェロモントラップはモニタリングの手段として優れているといえよう。以下、実際の適用例を見てみよう。

2 害虫の発生の検出

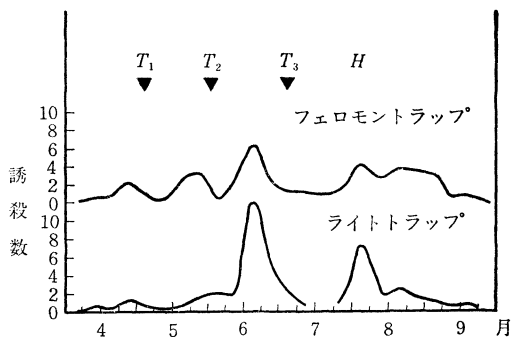
マイマイガは、ヨーロッパ、アジアなどを原産地とする森林害虫であるが、1869年北アメリカへ侵入して以来、現在もなお、その分布を拡大しつつある。1970年、マイマイガの性フェロモンが、(Z)-7,8-epoxy-2-methyloctadecane と同定されてから (BIERL et al., 1970)、その合成品ディスプレイを用いたの試験が行われつつある。ディスプレイは強い誘引性を示すので、これを用いたフェロモントラップを、マイマイガが分布を広げつつある地域の周辺部に 1.6km×1.4km に1個ずつ格子状に配置することによって、侵入の有無を検出することが行われている (BEROZA and KNIPLING, 1972)。

コドリンガはリンゴの大害虫として知られているが、本種の性フェロモンは、ROELOFS ら (1971) によって (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol であることが判明している。この合成フェロモンを誘引源に用いたトラップを果樹園に設置することで、その果樹園にコドリンガが発生しているかないかどうかを知ることができ、その結果、不必要な殺虫剤散布をやめることができる可能性も示されている (GLASS and HOYT, 1972)。また、MADSEN and VAKENTI (1973) は、カナダの6か所の果樹園にフェロモントラップを設置し、このトラップへの誘殺数を見て殺虫剤の散布回数を決めるという方法で試験した結果、トラップへの誘殺数を基準にして、ある場合には3回の散布を1回に減少させることも可能であることを示している。

3 発生時期の検出

コドリンガは、カリフォルニアのリンゴ園においては年3~4回発生し、本種による被害を防ぐためには、春の開花直後から秋の収穫期までの間に4回以上の殺虫剤散布が必要である。従来は DDT の散布が主体であったので、散布の時期はそれほど問題ではなかったが、過度の殺虫剤散布が果樹園の害虫相に影響を及ぼし、ハマキやキジラミ、ハダニなどの多発生をひき起こす結果となった。そこで、できるだけ殺虫剤散布を減らすことを目標に総合防除への道を進むことになったが、こうなると殺虫剤散布の時期を正しく決めることが重要となってきた。そこで、合成フェロモンを用いたトラップへの誘殺

から、特に初期の成虫の飛来時期を知って、防除の時期を決定することが試みられてきた (BATISE, 1970; BATISE et al., 1973)。その結果、フェロモントラップは紫外線を用いたライトトラップよりも、初期の飛来時期を確実に知ることができた (第2図)。第1回目の散布は、トラップに雄が誘殺され出した日から5~7日後 (幼虫のふ化時期にあたる) に行われる。同様に、2回目、3回目の散布もフェロモントラップへの誘殺数を基準にして決めることができた。



第2図 コドリンガにおけるフェロモントラップの誘殺数を基にして決められた殺虫剤の散布時期
 T_1 , T_2 , T_3 : 散布時期, H : 収穫期
 (BATISTE et al., 1973 のデータから METCALF (1975) が画く)

このように、害虫の発生時期を知るためには、フェロモントラップは有効である場合が多い。特に害虫の密度が低いときフェロモントラップの誘引力はより強いから、初期の飛来時期を知る上には大きな効果を発揮しよう。コドリンガ以外にも、フェロモントラップによる発生時期の検出は、いろいろな害虫で行われており、我が国でもコスカシバ (YAGINUMA et al., 1976)、ハスモンヨトウ (杉野・沢木, 1975) などで試みられている。

4 発生数の予測

フェロモントラップへの誘殺数から、その害虫の発生数を予測することは、前述したように誘殺数が雌成虫の密度に逆依存するため、一般には簡単ではない。しかも、トラップへの誘殺数は、気象条件やトラップの設置場所、トラップの数と配置などによって複雑に変わるから、これらの関係を明らかにしない限り、正確な予測は望めそうもない。しかし、比較的広い地域の発生数の大体の傾向を知るとか、季節ごとあるいは年間の発生数の多少を予測するとかいったときには、これらの要因を無視しても十分に合う場合もある。

MILLER and McDUGALL (1973) は、トウヒノシントメハマキで、年間の誘殺数 (Y) と翌年の3令幼虫数(枝当たり) (X) との間に、次の回帰式を得た。

$$Y=0.113+0.628X$$

この式から、今年の誘殺数から来年の発生数を予測することができる。

杉野 (1976) は、静岡県内数か所に設置したハスモンヨトウのフェロモントラップへの誘殺数と発生面積との関係を解析した結果、初期 (5~6月) の誘殺数と発生盛期 (8月) の誘殺数との間に高い相関を認めた。また、8・9月の誘殺数 (対数) と発生面積との間にも直線関係が認められ、フェロモントラップを用いれば、誘ガ燈による場合よりも早い時期から精度の高い予察を行える可能性が示された。NAKASUJI and KIRITANI (1976) は、同じハスモンヨトウでトラップへの誘殺数と卵塊数との間に直線関係を認め、これに被害を発現させる卵塊密度を結びつけることによって、防除を要する誘殺数を求めている。

これらは、更に今後データが蓄積されて精度を増していく必要があるが、フェロモントラップを発生数の予測のために使用できることを示したものとして注目される。

III 大量誘殺法による防除

性フェロモンを直接防除に利用しようとするとき、第1に考えられるのは、その誘引力を利用して雄を除去してしまおうというものであろう。この考えを初めて理論的に考察したのは、KNIPLING and McGUIRE (1966) であった。効果的な防除を達成するためには、大量の雄成虫を誘殺する必要があるので、この方法は大量誘殺法と呼ばれる。KNIPLING たちの基礎になる考えは、既に示した (1) 式であって、野外に生息する雌の数 S よりはるかに多い数のトラップ V_0 を設置することで、交尾する雄の確率 P を下げていって、害虫密度を 0 にしようというものである。したがって、KNIPLING に始まるこの考えは、ちょうど不妊雄の放飼によってスクリュウ・ウォームを絶滅しようとしたのと同様に、害虫の絶滅をねらったものであった。

大量誘殺法の効果は、(1) 式から明らかなように、野外雌の密度とトラップの誘引力の比に一義的に依存し、害虫の密度が低いときほど効果が高い。すなわち、その効果は害虫の密度に逆依存的であるといえる。更に、大量誘殺法 (次の交信攪乱法も同じであるが) は、殺虫剤による防除のようにその世代の害虫の個体数を減少させようというのではなく、次世代以降の個体数の減少を

もくろむものである。したがって、何世代かにわたって継続して初めてその効果を評価できるものである。また、個体群の中から雄成虫だけを取り除いていくわけだから、雌成虫は依然として潜在的な交尾能力を持ったまま残される。もし、ここに大量の雄が飛来して来たとするれば、処女雌数は当初とあまり変わっていないから、交尾雌数の増加を見るであろう。

これらの点から考えて、大量誘殺法を試みようとする場合、以下のことをあらかじめ明らかにしておくことが必要であろう。まず、対象とする害虫個体群の成虫個体数をなんらかの方法で知っておかなければならない。これは、必要とするトラップ数を決定するために必須の条件である。次に、当世代の成虫数と次世代の成虫数との関係 (世代間の増加率) を知る必要がある。しかもこの増加率は普通、密度に依存するから、密度との関係でおさえることが望ましい。第3に、外からの移入個体数を知る必要がある。移入個体数の多いとき確実な防除効果を上げるためには、相当大面積を対象にしなければならないことになろう。

1 マイマイガへの適用

BEROZA and KNIPLING (1972) は、マイマイガの仮想的な個体群に大量誘殺法を用いたときの防除効果を KNIPLING and McGUIRE のモデルに従って計算した (下表)。すなわち、10平方マイルの地域で1日当たり100匹の雌と雄が10日間にわたって羽化してくるとする。ここに、5,000個のトラップをおいて、1,000匹の雌と交尾させる。計算の結果、交尾した雌は54匹で、無防除の場合の交尾雌数 (1,000匹) に比べて94.6%の交尾阻害率であった。この防除を更に次世代も続ければ、マイマイガの個体群は急激に減少するであろう。

毎日100匹の雌と100匹の雄が羽化してくるマイマイガに対して5,000個のトラップで大量誘殺をしたときの交尾阻害率 (BEROZA and KNIPLING, 1972)

日	処女雌数	雄数	誘殺数	交尾雌数	日ごとの交尾阻害率 (%)
1	100	100	98	2	98
2	174	102	99	3	97
3	228	102	98	4	96
4	268	103	98	5	95
5	297	104	98	6	94
6	318	105	99	6	94
7	334	105	98	7	93
8	345	105	99	7	93
9	354	105	99	7	93
10	360	105	99	7	93
計	—	—	985	54	94.6

CAMERON (1973) はこのことを野外で実際に試みてみた。まず、マイマイガの被害が出ていない地帯の 100ha にわたって、5,000 μg のディスプレイアを誘引源にした筒型のトラップを 1 平方 km 当たり 1,160 個あるいは 4,640 個の割合で航空機から散布した。この調査地にマイマイガの被害地帯から集めてきた蛹を、雌成虫に対するトラップの比率が 5:1~75:1 になるように、いろいろの密度で配置した。こうして、調査期間の終わりに蛹から羽化した雌成虫を回収して交尾率を調べた。その結果は、いずれの調査区でも雌の交尾率は対象区(無防除)に比べて変わらないか、むしろ高く、試験は完全に失敗であった。この結果について CAMERON は、性フェロモンは雄に対して雌を探索する行動を開始させるだけの役目しか持っていないと考え、トラップを散布した区で交尾率の上昇したことを説明できるとしているが、それを支持する証拠は今のところない。更に、雄が雌に接近する際に視覚などが重要な役割をはたしているとする、トラップと雌成虫では同じ性フェロモンを出していたとしても、トラップの誘引力は雌のそれと同等ではないことを指摘しているが、これは重要な点であろう。この失敗例は、大量誘殺法の適用の際にも成虫の配偶行動やフェロモンの物理・化学的研究など、基礎的な研究が必須であることを如実に示している。

2 ハマキガの1種への適用

大量誘殺法は既に指摘したように、次世代以降の害虫密度を抑制しようというものであるから、防除に必要なトラップ数は、世代間の増加率を基にして決めなければならない。世代内の個体数の動きだけを扱った KNIPLING and MCGUIRE のモデルからは、この答えは出てこない。世代間の増加率に基づいてトラップ数を求め、防除を成功に導いた例として ROELOFS ら (1970) によるハマキガの1種 *Argyrotaenia velutinana* への適用がある。この種の性フェロモンは、(Z)-11-tetradecenyl acetate であることが判明しており (ROELOFS et al., 1968), 更に dodecyl acetate がこのフェロモンの共力剤として効果があることが知られている。この種はリンゴを加害し、年2回の発生を示す。雌成虫は平均200個の卵を産み、この卵のうち雌成虫に達するものは約20匹であることが分かっているので、世代間の増加率 D は20である。

さて、増加率 D が $D=1$ なら個体群は増加も減少もしないで平衡状態を保ち、 $D>1$ なら増加、 $D<1$ なら減少するであろう。したがって、個体群を減少させるためには、 D のうち $D-1$ 以上の増加率を達成させない必要がある。すなわち、必要な防除率(交尾阻害率)(%)は、 $(D-1)/D \times 100$ 以上でなければならない。ハマキガの

場合、 $D=20$ だから、95% 以上の防除率を必要とする。ROELOFS らは KNIPLING and MCGUIRE のモデルを基にして、95% 防除率を達成するのに必要なトラップ数を次のように求めた。彼らはまず、トラップのフェロモン源の強さに対する全雌成虫の放出するフェロモンの強さの比 r を、次のように定義した。

$$r = \frac{T}{AN} \quad (3)$$

ここで、 T は雌成虫数、 N はトラップ数、 A はトラップ当たりの誘引力の1雌の誘引力に対する比率である。モデルの計算から、95% 防除率を達成させるには、 $r=0.2$ が必要であることが求められた。(3) 式を N について解けば、

$$N = \frac{T}{rA} \quad (4)$$

であるから、 T 、 A の値が分かれば、トラップ数 N を求めることができる。このうち、トラップの誘引力 A は、実験から $A=2$ と求められた。

第1回目の試験は、20エーカーの果樹園に2,400個のトラップを設置し、第2世代(7月)の成虫に対して誘殺が行われた。2,400個のトラップの一部に誘殺された雄成虫の総数から、 T は17,000以上と推定された。(4) 式からこのとき必要なトラップ数は、42,000個以上と求められ、実際に設置したトラップ数でははるかに少ないことが判明した。実際、被害果の割合は32%に達した。

そこで、次に殺虫剤によってハマキガの密度を低く保った果樹園で、同様な試験を行った。設置したトラップ数は $N=1,100$ 、雌成虫数は $T=727$ と推定された。このとき、(3) 式から $r=0.33$ と求め、これから92%の防除率が予想された。実際、発見された被害はわずかであった。更に引き続いて同じ防除が行われた次世代では、被害は0となった。

こうして、ROELOFS らの立てたモデルは、十分使えることが示された。この例は、今後同様な適用をする場合の良い参考となるであろう。しかし、既に指摘したように増加率は密度に依存して変化し、天候その他によって変動もするから、一般には一定とおくことはできない。したがって、増加率の変動も加味した最低必要トラップ数を求めることが最も望ましいであろう。

IV 交信攪乱法による防除

大量誘殺法は性フェロモンの誘引力を利用したものであって、その限りにおいては誘ガ燈のように光に害虫を誘引させたり、食餌に誘引させる場合と本質的には変わ

るところがない。交信攪乱法は、雌雄間の交信の媒体である性フェロモンを逆手にとって、交信を断ったり、混乱させて、その結果交尾行動を阻害しようというものであるから、いわば性フェロモン特有の新しい防除法といえることができる。この考えは、1960年 BEROZA によって初めて提案された。BEROZA は誘引物質の総説の最後に、「殺虫剤を使わない防除法として一つの興味ある展望は、雄が雌のありかを発見しようという行動を困惑させるために、広範な面積にわたって性誘引物質を散布することである。」と述べた。

交信の攪乱を起こさせる機構は幾つか考えられており、実際の防除試験でも幾つかの種において交尾が阻害された結果が得られているが、実際に起きている機構は何かというと、今のところ断定できるものはほとんどない。また、交信の攪乱を起こさせる物質も、性フェロモンそのもののほかにフェロモン類似物、性フェロモンの構成成分などが知られている。以下、考えられる交信攪乱の機構を中心に、交信攪乱法の可能性を考えてみたいと思う。

1 性フェロモンによる交信攪乱

性フェロモンによる交信攪乱の機構として考えられるものは、大きく三つに分けることができる。その第1は人工的な雌であるフェロモン源に雄を引きつけて、真の雌との交尾を妨げるという考えである。BEROZA and KNIPPLING (1972) は、これを“数的な困惑 (numerical confusion)”と呼んだ。この機構は確かに起こる可能性はあるが、その作用は大量誘殺法と同様に生息する雌の密度に依存するであろう。したがって、害虫の密度の低いときに有効であっても、密度が高くなると、ほとんど効果は期待できないであろう。また、人工的なフェロモン源に定位した雄は、真の雌につき当たるまで探索行動をとるであろうから、害虫の密度が低くても高い効果はそれほど期待できないことも考えられる。

第2の機構は、雌のまわり一面に性フェロモンを充満させてしまえば、雄はもはや雌の放出するフェロモンを区別することができなくなり、交尾が妨げられるというものである。この機構は、雄のフェロモン源への定位及び誘引機構に依存するところが大きい。次の匂いの感受機構とも関係しており、両者は必ずしも明確に区別できない。確かに雌の放出するフェロモンがまわりのフェロモンによっておい隠されてしまえば、そのフェロモンによって雄が雌に近づいている限り、その行動は大きく阻害されるであろう。しかし、大量誘殺の項でみたマイマイガの場合のように、フェロモンは雄の探索行動を開始させるだけ考えると、交尾阻害は全く起こらない

であろう。したがって、この機構については誘引機構を基にして今後解明されなければならない問題である。

第3の機構は、匂いの感受機構に関係したものである。性フェロモンの濃度とこれに対する雄の反応性の関係を画いてみると、一般にはS字曲線を示す。すなわち、ある濃度以上のフェロモンに対して雄は反応を示し、濃度が高くなるにつれて反応性も増加するが、ある濃度以上では反応は飽和に達する。このいき値から飽和濃度までの間で、雄はフェロモン濃度の違いを識別できる。一方、動物の匂いの感受器管は、一定時間匂いにさらされるとその匂いに対して適応を起こして、その匂いを感じなくなる現象が一般に知られている。雌フェロモンに対しても同じであって、ある濃度のフェロモンと一定時間接触した昆虫は、それ以下の濃度に対しては反応が著しく低下すると考えられる。したがって、雌の放出するフェロモンの有効範囲よりはるかに遠くから高い濃度のフェロモンにさらされた雄にとっては、雌のフェロモンの有効範囲は、非常に小さなものになってしまうであろう。その結果として、雌と交尾する雄の割合は低下しよう。更に飽和濃度以上のフェロモンが充満されていけば、雄はフェロモンを利用して雌に接近することは完全に阻害される。しかし、その場合であっても、雄が雌の近くでは視覚など別の刺激によって接近しているならば、100%交尾を阻害することはできないであろう。

交信攪乱を起こさせる機構としては以上のものが考えられるが、実際にはこれらが複合的に働いているものと思われる。交信攪乱法の作用は、数的な困惑の場合を除けば、密度に比例的に働く（すなわち、密度に依存しない）といえる。このことは、大量誘殺法と異なる大きな特徴である。性フェロモンによる交信攪乱法を試みた例としては、マイマイガ、ワタノアカミムシ、イラクサキンウワバなどがあるが、詳細は石井 (1973)、玉木・中村 (1976) にゆずる。

2 性フェロモン類似の物質による交信攪乱

性フェロモン以外の物質によっても交信攪乱が起こることが知られている。例えば、性フェロモンの立体異性体や性フェロモンの前駆体と考えられるアルコールなどが、性フェロモンの活性を阻害し、あるいはおい隠す作用を持っている (ROELOFS and COMEAN, 1968, その他)。また、性フェロモンと構造的に類似している化合物によっても、性フェロモンに対する反応が阻害されることが明らかにされている (BEROZA et al., 1971, その他)。したがって、これらの物質を用いて交尾阻害を起こさせることが考えられるが、現在のところ、それを試みた試験はわずかである。

3 性フェロモンの構成成分による交信攪乱

最近の性フェロモンの構造決定に関する研究の結果、多くの昆虫の性フェロモンが2個以上の構成成分から成り立っていることが、明らかにされつつある。この構成成分の一つによって性フェロモンへの反応が阻害される事実も明らかにされ、性フェロモンの構成成分が交信攪乱のために利用できる可能性が出ている。

ハスモンヨトウの性フェロモンは、主成分が (Z, E)-9, 11-tetradecadienyl acetate (TDDA) で、これに少量の (Z, E)-9, 12-TDDA が共力物質として働いている (TAMAKI et al., 1973)。このフェロモンの誘引性は、二つの化合物の比率によって大きく変わる。更に、(Z, E)-9, 12-TDDA を野外に放出すると、処女雌の交尾率は著しく阻害されることが分かった (YUSHIMA et al., 1974)。現在、これらの化合物による交尾阻害試験が精力的に行われている。同様な現象は、チャノココクモンハマキにおいても実験的に確かめられている (HIRAI et al., 1974)。

これら性フェロモンの構成成分による交信攪乱の機構については、それぞれの構成成分の役割が判明していない現在、まだ推測の域を出ない。しかし、その防除への適用は、性フェロモンそのものよりも有利な点が多いと考えられる。その一つは、一つの構成成分を施用するだけでは誘引効果がないから、周辺から雄を誘引することがないこと、また、微量成分の施用ではフェロモンそのもの場合より少量の施用ですむことである。

おわりに

性フェロモンは殺虫剤にかわる防除剤として考えられがちである。しかし、指摘してきたように、性フェロモ

ンの作用の仕方は殺虫剤のそれと同等ではない。また、性フェロモンといえども環境汚染の危険性もあるし、害虫が性フェロモンに対して抵抗性を獲得する可能性も考えられる。したがって、性フェロモンを単独で防除に用いることは、低密度の害虫の絶滅を目指すときを除いて決して望ましいものではないし、それによっては防除の成功も望めないであろう。CAMERON (1973) は、マイマイガの防除の目標として、①分布の拡大しつつある地域の周辺に隔絶地帯を設けること、②分布地域から隔離して発生した地域の絶滅、③分布地域の個体群密度の低下に分けた。そして、低密度の①、②は大量誘殺法で、③については性フェロモンだけでは無理で、他の防除法と組み合わせて初めて達成できるであろうとしている。今後のフェロモン利用のために参考となる考えである。

引用文献

- BATISTE, W. C. et al. (1973) : *Envir. Ent.* 2 : 387~391.
 BEROZA, M. (1960) : *Agr. Chemic.* 15(7) : 37~40.
 ——— and E. F. KNIPLING (1972) : *Science* 177 : 19~27.
 CAMERON, E. A. (1973) : *Bull. ent. Soc. Am.* 19 : 15~19.
 石井象二郎 (1973) : 総合防除 (深谷・桐谷編), 講談社, p. 215.
 KNIPLING, E. F. and J. U. MCGUIRE, JR. (1966) : *USDA Agr. Inf. Bull.* 308 : 1~20.
 MADSEN, H. F. and J. M. VAKENTI (1973) : *Envir. Ent.* 2 : 677~679.
 ROELOFS, W. L. et al. (1970) : *J. econ. Ent.* 63 : 1162~1167.
 玉木佳男・中村和雄 (1976) : 農業技術 31 : 355~360, 492~495.

人事消息

小田久五氏 (林業試保護部昆虫科長) は林業試験場保護部長に
 小林富士雄氏 (同上科昆虫第1研究室長) は同上部昆虫科長に
 山根明臣氏 (同上室主任研究官) は同上科昆虫第1研究室長に
 内藤進氏 (近畿農政局生産流通部長) は福島種畜牧場長に
 渡辺源次郎氏 (農蚕園芸局植物防疫課農薬班生産係長) は経済企画庁経済研究所国民経済計算調査室主査に
 行本修氏 (滋賀県企業庁次長) は滋賀県農林部長に
 中村次男氏 (同上県土木部監理課長) は同上部次長に

本郷正弘氏 (滋賀県農試園芸分場長) は滋賀県農林部農産普及課総括専門技術員に
 久保真知氏 (同上県今津事務所農産課長) は同上県農業試験場園芸分場長に
 堀井輝夫氏 (同上県農林部長) は退職
 野島武盛氏 (沖縄県農林水産部長) は沖縄県副知事に
 島崎盛武氏 (同上部次長) は同上県農林水産部長に
 三共株式会社農薬部は東京都中央区銀座2の7の12 [郵便番号 104] へ移転。電話は東京 03-542-3511 番と従来どおり
 丸和バイオケミカル株式会社の電話は東京 03-567-6531 番と変更

新 しく 登 録 さ れ た 農 薬 (51.8.1~8.31)

掲載は種類名、有効成分及び含有量、商品名、登録番号(登録業者(社)名)の順。
 なお、アンダラインのついた種類名は新規のもので、次の〔 〕は試験段階時の薬剤名。

『殺虫剤』

DEP 粉剤

DEP 4%

井筒屋ディプレックス粉剤

13597 (井筒屋化学産業)

DEP 乳剤

DEP 50%

井筒屋ディプレックス乳剤

13601 (井筒屋化学産業)

『殺菌剤』

フサライド・有機ヒ素粉剤

フサライド 2.5%, メタンアルソン酸鉄 0.4%

三共ラブサイドネオアソ粉剤

13600 (三共)

『殺虫殺菌剤』

MEP・プラストサイジンS粉剤

MEP 2%, プラストサイジンS 0.16%

山本プラスミ粉剤 8

13598 (山本農薬)

MTMC・プラストサイジンS粉剤

MTMC 2%, プラストサイジンS 0.16%

山本ツマブラエス粉剤 8

13599 (山本農薬)

『除草剤』

石油除草剤

芳香族炭化水素 15%, 飽和炭化水素 80%

シルバゾール-K

13596 (三菱石油)

『殺そ剤』

ダイファシン系殺そ剤〔インダンジオン〕

2-ジフェニルアセチル-1,3-インダンジオン 0.005%

ヤソジオン

13595 (大塚薬品工業)

農 薬 要 覧

農林省農蚕園芸局植物防疫課監修

農薬要覧編集委員会編集

好評発売中! ご注文はお早目に!

— 1976年版 —

B6判 510 ページ タイポオフセット印刷

実費 2,200 円 送料 160 円

— 主 目 次 —

- I 農薬の生産、出荷
 品目別生産、出荷数量、金額 製剤形態別生産数量、金額
 主要農薬原体生産数量 50年度会社別農薬出荷数量 など
- II 農薬の輸入、輸出
 品目別輸入数量 品目別輸出数量 仕向地別輸出金額など
- III 農薬の流通
 県別農薬出荷金額 50年度農薬品目別、県別出荷数量 など
- IV 登録農薬
 50年9月末現在の登録農薬一覧
- V 新農薬解説
- VI 関連資料
 水稻主要病害虫の発生・防除面積 空中散布実施状況 防
 除機械設置台数 法定森林病害虫の被害・数量 など
- VII 付 録
 法律 名簿 年表

- 1975年版— 実費2,000円 送料160円
- 1974年版— 実費1,700円 送料160円
- 1973年版— 実費1,400円 送料160円
- 1972年版— 実費1,300円 送料160円
- 1971年版— 実費1,100円 送料160円
- 1970年版— 実費 850円 送料 160円
- 1966年版— 実費 480円 送料 160円
- 1965年版— 実費 400円 送料 160円
- 1964年版— 実費 340円 送料 160円
- 1963, 1967, 1968, 1969年版—
 品切絶版

お申込みは前金(現金・小為替・振替)で本会へ

紹介

新登録農薬

〔展着剤〕

タマジエット

成分：D-ソルビット 60%

適用病害虫の範囲及び使用方法：

- ①適用場所：温室及びビニールハウス
- ②適用作物：キュウリ、スイカ、メロン、トマト、ナス、ピーマン、イチゴ、バラ、キク、カーネーション
- ③適用農薬：ケルセン乳剤・水和剤、アセフェート水和剤、TPN 水和剤、キノキサリン系水和剤、チオファネートメチル水和剤、ベノミル水和剤、ポリオキシン水和剤
- ④散布液 3 l 当たり使用量（希釈倍数）及び 1,000m³ 当たり散布液量：300 cc (10 倍)・3 l, 150 cc (20 倍)・6 l
- ⑤使用方法：本剤の所定希釈液に所定量の適用薬剤を溶かし、プルスフォグ機を利用して散布する。

使用上の注意事項：

- ①薬液調製に当たっては次の注意を守ること。
使用の際はびん（またはかん）を軽く振ってから本剤を取り出す。所定量の本剤を水で所定濃度に希釈し、その約 1/4 量に適用薬剤の所定量全量を入れて、よくかきまぜた後、残り（3/4 量）の本剤希釈液を加えて

十分かきまぜ、散布薬液を調製する。薬液調製の際はゴム手袋を着用する。調製した薬液はなるべく早く使用し終える。

- ②調製した散布薬液は必ず専用の散布機（プルスフォグ機）を使用し、その使用基準に従って散布すること。
- ③散布に当たっては適用農薬の使用条件を厳守すること。
- ④作業後は顔、手足などの皮膚の露出部を石けんでよく洗い、うがいをすること。
- ⑤本剤は冬期低温（5°C 以下）におくと、結晶を析出し、凝固することがあるが、品質上の影響は認められないので、その場合は容器のまま 40~50°C の湯湯に浸漬して溶解させ、よく振ってから使用すること。
- ⑥噴霧の際は、噴口からの噴霧液が直接作物にかかること、薬害や収穫物の汚れを生ずることがあるので、ビニールなどの遮蔽物を利用して直接かからないように注意し、拡散した噴霧によってむらなく処理できるようにすること。
- ⑦噴霧中及び噴霧後密閉処理中のハウスには入らないこと。なお、やむを得ず入る必要が生じた場合は必ず防護マスクなどをつけ、防護を完全にすること。

貯蔵上の注意事項：

密栓して乾燥した冷暗所に貯蔵する。冬期低温（5°C 以下）によって凝固することもあるので、5°C 以下に注意すること。

取り扱い業（社）名：田摩フレキ産商

登録年月日：昭和 51 年 7 月 1 日

協会だより

一本 会一

○野そ防除現地研究会を開催す

8 月 25~27 日の 3 日間、群馬県草津町において標記研究会を開催した。行政ならびに試験研究担当者、都県協会、農業会社などの関係者約 300 名が参集した。

第 1 日は午後 1 時遠藤常務理事、群馬県農政部飯島謹吾農業技術課長の挨拶があつてのち、各県から野そ防除の現状について、①野そ防除推進方針、②野そ防除の現状（防除組織）及び体制、③事業規模及び防除方式、④防除対象種及び適用薬剤、⑤防除の現状に対する評価などが報告された。

第 2 日は下記 4 題について講義が行われた。

- (1) 野その発生予察—農耕地—

富山県立技術短大 望月正巳氏

- (2) 同 一森林—

農林省林業試験場保護部 上田明一氏

- (3) 野そ防除体制 全農技術普及室 上島俊治氏

- (4) 野そ防除暦の作り方 愛知県、群馬県

終了後農林省農業技術研究所河野達郎病理昆虫部長の司会で総合討論が行われた。

第 3 日は午前中群馬県立浅間育成牧場での牧草地における野そ防除を見学した。

○殺虫剤抵抗性対策現地検討会を開催す

殺虫剤抵抗性研究会の 51 年度の事業として 9 月 1~2 日の両日、和歌山市において関係者約 150 名参集のもとに開催した。

第 1 日は午後 1 時より県民文化会館 5 階大集会場で下

記3講演が行われた。

- (1) 和歌山県におけるミカンハダニ防除の現状と問題点 和歌山県果樹園芸試験場 上野晴久氏
 (2) リンゴにおけるハダニ類の殺虫剤抵抗性の現状と問題点 秋田県果樹試験場 成田 弘氏
 (3) 殺虫剤抵抗性イエバエの生理・遺伝的特性

国立予防衛生研究所 安富和男氏

第2日はバスで、有田市糸我地区における抵抗性の現地検定結果やミカン栽培地でのスプリンクラー施設の見学、その後、和歌山県果樹園芸試験場で抵抗性試験ほ場の見学と抵抗性の事例報告を聞いた。

○抗植物ウイルス剤現地研究会を開催す

抗植物ウイルス剤研究会の51年度の事業の一つとして第4回現地研究会を9月9～10日の両日、福岡・大分両県下で農林省関係研究機関、県農業試験場、大学、理化学研究所、関係団体及び農業会社などの関係者約130名参集のもとに開催した。

第1日目の9日は久留米市内の久留米市農協で、午前9時遠藤常務理事の挨拶で開会。次いで農林省野菜試験場久留米支場栗山尚志支場長と明日山秀文研究会委員長の挨拶ののち、下記講演が行われた。

座長 九州農試 古田 力氏

- (1) 九州における野菜・花きのウイルス病について
 野菜試験場久留米支場 木曾 皓氏

座長 明日山秀文委員長

- (2) 制癌剤に関する研究 (特別講演)

九州大学医学部癌研究所 桑野信彦氏

座長 ウイルス研 小室康雄氏

- (3) トマトを中心としたアブラムシの発生消長とその予察
 奈良県農業試験場 杉浦 哲氏

以上3氏の講演終了後、日本専売公社中央研究所都丸敬一氏が座長となり、抗植物ウイルス剤の現況、その他について総合討論が行われた。討論終了後台風17号の影響で時折強い風雨のやってくる中をバス2台に分乗し、木曾 皓室長(前出)の案内で久留米支場内の抗植物ウイルス剤試験ほ場(トマト、キュウリ)を見学したのち、大分県高冷地野菜花き試験地高倉志能主任及び農業改良普及員の説明で飯田高原一帯の高原キャベツを視察し第1日目を終った。

第2日の10日も高倉主任及び農業改良普及員の案内で牧の元の高原トマト、ピーマン栽培地、飯田農協選果場及び竹田市菅生のレタス栽培地を視察し、午後4時久留米市内で解散した。

○第32回編集委員会を開催す

9月15日午前10時より本会会議室において編集委

員7名、常任委員9名、計16名の方々の参集のもとに第32回編集委員会を開催した。遠藤常務理事の挨拶ののち、編集委員・常任委員の異動について、伊藤一雄氏、桜井義郎氏、浅川 勝氏の3氏が辞任され、新たに河野達郎氏(農林省農業技術研究所病理昆虫部長)、川原哲城氏(農林省農薬検査所技術調査課検査管理官)、守谷茂雄氏(農林省農業技術研究所病理昆虫部 農業科農業物理化学研究室長)の3氏がなられた。次いで水上武幸委員長(前農林省農業技術研究所病理昆虫部長)の逝去に伴い、空席となっていた委員長に河野達郎委員をお願いした。河野委員長は挨拶ののち、議事を進行。雑誌「植物防疫」については、行政的な問題、緊急防除、侵入が警戒される病害虫なども組み込むよう要望があった。昭和52年度(第31巻)の編集方針で、来年度も4冊の特集号を企画することにし、常任委員案の4題について細部にわたって討議が行われた。植物防疫基礎講座は病害・害虫・病原菌の見分け方、試験方法の解説を継続することを決め、表紙デザインを選定した。なお、表紙デザインを一般公募してはどうかという案が出て、事務局で検討するようという要望があった。

なお、本誌編集委員は下記の方々です。(アイウエオ順)

- 委員長 河野達郎 (農林省農業技術研究所)
 委員 遠藤武雄 (日本植物防疫協会)
 岸 国平 (農林省農林水産技術会議)
 北島 博 (農林省植物ウイルス研究所)
 小林勝利 (農林省蚕糸試験場)
 沢田啓司 (農林省横浜植物防疫所)
 高岡市郎 (日本専売公社中央研究所)
 高久恒夫 (植物防疫全国協議会)
 福田秀夫 (農林省農薬検査所)
 福永一夫 (理化学研究所)
 向 秀夫 (東京農業大学)
 本宮義一 (農林省農蚕園芸局植物防疫課)
 常任委員 飯嶋 勉 (東京都農業試験場)
 梅谷献二 (農林省果樹試験場)
 川原哲城 (農林省農薬検査所)
 川村 茂 (日本植物防疫協会)
 鈴木安房 (山梨県農務部農業技術総室)
 寺口睦雄 (農林省農蚕園芸局植物防疫課)
 西野 操 (静岡県柑橘試験場)
 守谷茂雄 (農林省農業技術研究所)
 山口富夫 (農林省農業技術研究所)
 山田駿一 (農林省果樹試験場興津支場)
 湯嶋 健 (農林省農業技術研究所)

○昭和51年度野菜病害虫防除現地検討会を開催す

野菜病害虫防除研究会の51年度事業の一つとして、野菜病害虫防除現地検討会を9月16～17日の両日千葉県において開催した。台風一過の晴天にめぐまれた会場には農林省、農林省野菜試験場、他農林省関係試験場、

都道府県試験研究機関、防除所、関係団体、大学、関係会社などの関係者約 260 名が参集して盛大に行われた。

第 1 日目の 16 日は九十九里浜の国民宿舎、九十九里センターにおいて本会遠藤常務理事、福田俊夫千葉県農業試験場長の挨拶ののち下記の 3 講演が行われた。

竹内昭士郎氏 (農事試) を座長として

(1) 千葉県における野菜病害虫防除の現状と問題点
千葉県農試 長井雄治氏
小室康雄氏 (ウイルス研) を座長として

(2) 弱毒ウイルスの利用に関する現状と問題点
植物ウイルス研 大島信行氏
腰原達雄氏 (野菜試) を座長として

(3) 天敵微生物利用の現状と問題点
中国農試 岡田齊夫氏

講演終了後、西 泰道 (野菜試)、腰原達雄 (前出) の両氏を座長として総合討論を行った。

第 2 日目の 17 日はバスで一路九十九里浜沿いに南下し一宮町の施設野菜と弱毒ウイルス利用によるトマトの栽培、旭市のモデル団地とトマトの病害虫、富里村では北総台地の代表的作物の一つとなっているサツマイモのコガネムシとその防除を見学した。途中昼食は犬吠崎でとり、この時期には珍しい荒れた海に接した。2 日間の日程を終え千葉駅で解散したのは午後 4 時であった。

○編集部だより

従来「新しく登録された農薬」のうち新規成分のものを『紹介 新登録農薬』として解説してきましたが、ここ 1~2 年間休載してしまいました。本号より復活して 44 ページのように掲載することにしました。

推 せ ん

「Plant Protection in Japan, 1976」

堀 正侃・石倉秀次・安尾 俊・福田秀夫 編集

定価 8,000 円 B5 判 445 ページ

アジア農業 第 14 巻 7 月号臨時増刊, 英文

アジア農業交流懇話会 発行

(東京都渋谷区千駄ヶ谷 5 の 27 の 11)

本書の初刊は、1967 年に私が中心で編監修をして発刊したが、植物防疫の総合紹介として、海外だけでなく、国内でも好評だった。

今回は石倉秀次君が中心になったが、綿密功緻な同君の持ち味が潑刺としていて立派である。そして前書の不備について私が気にしていた点がほとんど改められ補われているのが何よりもうれしい。また前書ではわが国の植物防疫の際立った発展を宣伝するのだという気負が目立ったと思うが、今回はわが国の植物防疫の実態を冷静に淡々と記述しているので、それが却って読者の信頼と関心を高めることになる。

試験場・研究所・大学などの活動、植物防疫諸団体の性質や役割、国際協力の動向など前書よりも巾広く取り

上げられ、また行政・農業や防除機械の生産流通の記事も内容が豊富になり、各論の作物とその病害虫の種類がずっと多くなっているが、記載は簡潔で要領よく、分り易い。

急激に発展し、複雑になった日本の植物防疫の実体をほんとに理解することは我々にとっても容易でないが、まして外国人にとっては難事であろう。私は仕事の性質上、学者専門家だけでなく、いろいろの農業関係の外人に接する。中には相当年月わが国に駐在している人も少なくない。しかし、いづれも日本の植防の真相は全くと云ってもよいほど分っていない。また、これらの人にそれを教えること自体が難しいようである。そして、実態や真相の認識不足のため、関係各部門の仕事の推進、外国または外人との交流、折衝、取引がいかに不円滑になり、非常な障害になっているかを痛感していた。

そこへ本書が出版された。本書こそ日本の植物防疫理解の最良唯一の手がかりであり、外国人も本書によって日本の実態を知ることができよう。

言うまでもないが、貴重な記録として、関係各部門で保存することも意義深いと思う。

(日本植物防疫協会理事長 堀 正侃)

植 物 防 疫

第 30 巻 昭和 51 年 10 月 25 日印刷
第 10 号 昭和 51 年 10 月 30 日発行

実費 400 円 送料 29 円 1 か年 3,840 円
(送料共概算)

昭和 51 年

10 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 —

新発売!

りんごのふらん病、
うり類のつる枯病の
予防、治療に

トッピンM ペースト



病患部を削りとったあとや剪定、整枝時の切口、環状はく皮などの傷口などにハケでぬるだけで、組織のゆ合を促進し、病菌の侵入を防ぎます。



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

英国バーカード社 (BURKARD) の研究用機器

○MONKS のライトトラップ (Monks Wood Light Trap)

蚊のほか種々の夜行性昆虫調査の目的で、生きたまま捕集されます。携帯型で12ボルトの自動車用バッテリーを電源としますので、野外のどこにでも使えます。

○微量滴下装置、手動式 (Arnold Hand Microapplicator)

0.25~5 μ l まで可能。付属品：注射器、注射針一式

○微量滴下装置、電動式 (Arnold Microapplicator)

0.1~10 μ l まで10段階式。操作簡便です。

○昆虫吸引トラップ (Johnson and Taylor Insect Suction Trap)

捕獲された昆虫は時間帯により分類されますから、週期性を表わすことができます。スタンド、制御箱、扇風機、円盤落下装置で構成。

○記録式芽胞容量測定器 (Seven-day Recording Volumetric Spore Trap)

空気中の微粒子、カビ、キノコ、酵母菌等の芽胞、花粉などを粘着テープでとらえます。

その他 BURKARD 社全製品

大阪市東区博労町一丁目五十九番地

日本代理店 株式会社 葯 信 社

〒541 電話 大阪 06 (262) 3113 番 (代)


カタログ御要求下さい。

「手まき」のいもち病防除剤

新発売



フジワンのシンボルマークです

フジワンは日本農薬のシンボルマーク  にちなみ命名しました。

®は日本農薬登録商標

フジワン®粒剤

気軽にまいてください。フジワンは、そのまま手まきのできる新しいいもち病防除剤。しかも浸透移行性が大きいので、すみやかにイネ全体に入りこみ、わずか1ppmという低濃度でいもち病菌の侵入を防ぎます。

- 散布適期幅が広く、ヒマをみて散布できます。
- すぐれた効果が長期間（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。
- 育苗箱処理で本田の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。

育苗箱での使い方

使用薬量：育苗箱当り50～75gを均一に
散粒
使用時期：緑化期から硬化初期が最適

穂いもち防除

使用薬量：10アール当り4kg
使用時期：出穂の10～30日前
(20日前が最適)

● 予防と治療のダブル効果

フジワン®乳剤

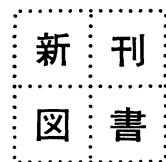
大型高性能防除機にも最適です。
1000倍液を散布してください。



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

全面増補改訂の新版刊行!!



農薬ハンドブック

1976年版

福永一夫（理化学研究所主任研究員）編集
農業技術研究所農薬科・農薬検査所等担当技官執筆

B6判 504 ページ 美装幀 ビニールカバー付

実費 2,800 円 送料 160 円

現在市販されている**農薬**を殺虫剤，殺菌剤，殺虫殺菌剤，除草剤，殺そ剤，植物成長調整剤，忌避剤，誘引剤，展着剤などに分け，各薬剤の作用特性，毒性・残留性，製剤（主な商品名を入れた剤型別薬剤の紹介），適用病害虫，取り扱い上の注意などの**解説**を中心とし，ほかに一般名・商品名，化学名・化学構造式・物理化学的性質，毒性・残留性を表とした**農薬成分一覧表**，**農薬残留基準**・**農薬登録保留基準**・**農薬安全使用基準**の解説，殺虫剤・殺菌剤・除草剤を対象作物別に表とした**対象作物別使用薬剤一覧表**，薬剤名・商品名・一般名・化学名よりひける**索引**を付した**植物防疫関係者座右の書!!**

本書の御注文は
直接本協会へ
前金（現金・小為替・振替）
をお願いいたします

〔主な内容〕

本 文

殺 虫 剤

- I 有機リン殺虫剤 II カーバメート系殺虫剤
- III 有機ハロゲン殺虫剤 IV 天然殺虫剤
- V 殺ダニ剤 VI 殺線虫剤 VII くん蒸剤
- VIII その他の殺虫剤

殺 菌 剤

- I 銅殺菌剤 II 硫黄殺菌剤
- III 有機ヒ素殺菌剤 IV 有機塩素殺菌剤
- V 有機リン殺菌剤 VI 抗生物質剤
- VII 土壌殺菌剤 VIII その他の殺菌剤

殺虫殺菌剤

- I 稲作用殺虫殺菌剤 II その他の殺虫殺菌剤

除 草 剤

- I フェノキシ系除草剤 II フェノール系除草剤
- III ジフェニルエーテル系除草剤
- IV カーバメート系除草剤 V 酸アミド系除草剤
- VI 尿素系除草剤 VII トリアジン系除草剤
- VIII ダイアジン系除草剤
- IX ビピリジリウム系除草剤
- X ジニトロアニリン系除草剤
- XI ニトリル系除草剤 XII 安息香酸系除草剤
- XIII 脂肪酸系除草剤 XIV その他の有機除草剤
- XV 無機除草剤

殺 そ 剤

- 植物成長調整剤
- 忌避剤，誘引剤
- 展着剤，その他

付 録

農薬成分一覧表

- 農薬残留基準，農薬登録保留基準，農薬安全使用基準
- 対象作物別使用薬剤一覧表

索 引

社団法人 **日本植物防疫協会**
 東京都豊島区駒込1丁目43番11号
 電話 東京(03)944-1561~4番
 振替 東京 1-177867番

イネ、イネドオロイムシの防除に使われるほか、稲作初期の諸害虫の同時防除に有効である。3~4 kg/10a を散布する。

適用害虫 イネ：ニカメイチュウ・イネドオロイムシ

PMP・NAC 粉剤(アツパナック粉剤) PMP：2%、NAC：1%含有。ニカメイチュウ、ツマグロヨコバヤの同時防除剤として 3~4 kg/10a を散布する。

適用害虫 イネ：ニカメイチュウ・ツマグロヨコバヤ

25 DMTP 剤 (スプラサイド)

スイスのガイギー社により開発された有機リン殺虫剤であるが、我が国での利用、開発は日本化学薬品によってなされた。果樹のりん超目幼虫及びカイガラムシ類に適用される。

〔作用特性〕

カイガラムシ類に効果があり、また、比較的低濃度でりん超目幼虫に有効である。温度による効果の変動が少ないといわれている。浸透性に優れた残効が長い。

〔毒性・残留性〕

劇物。人畜に対する毒性はやや大きい。残効が長いので収穫の3週間以上に散布を終わらなければならない。魚毒性B。訪花昆虫に対する影響は少ない。

〔製 剤〕

DMTP 水和剤(スプラサイド水和剤) DMTP：40% 含有。リンゴ、ナシ、モモ、カキなどに1,500~2,000 倍液を散布する。

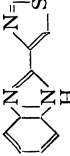
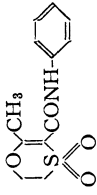
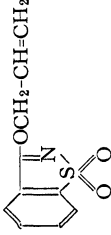
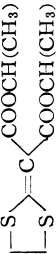
適用害虫 リンゴ：モモシンクイガ・クワコナカイガラムシ・アブラムシ類
・ハマキムシ類(コカクモハハキを除く) ナシ：クワコナカイガラムシ
モモ：モモシンクイムシ・クワシロカイガラムシ カキ：ツノロウムシ幼虫
・フジコナカイガラムシ幼虫

26 メナゾン剤 (サヒゾン)

イギリスの ICI 社及びプラント・プロテクション社により開発された低毒性の有機リン殺虫剤で、アブラムシにのみ選択的に効力をもつ。

〔作用特性〕

本剤は浸透移行性を有し、効果を示すのはほぼアブラムシ類に限られるが、残効が長く(2週間程度)、アブラムシが媒介するウイルス病防除に有効である。ハダニ類には効果が少ない。薬害の心配もない。

<p>チアベンダゾール thiabendazole (I, B)</p> <p>ピオガード</p>	<p>2-(4-(4-thiazolyl)benzimidazole 2-(4-チアゾリル)ベンズイミダゾール</p>  <p>白色粉末, m. p. 304~305, 水：<50 ppm, アセトン：0.3, メタノール：1, ベンゼン・クロロホルム：難溶</p>	<p>〔人畜〕 マウス♀：3810~4440 〔魚類〕A コイ：>40 ミジンコ：>40</p>
<p>オキシカルボキシ oxycarboxin (I, B)</p> <p>プラントバック Plantvax</p>	<p>5,6-dihydro-2-methyl-1,4-oxathiin-3-carboxamide 4,4-dioxide 5,6-ジヒドロ-2-メチル-1,4-オキサチイン-3-カルボキサニリド=4,4-ジオキシインド</p>  <p>白色結晶, m. p. 128~130, 水：0.1, アセトン：36, ベンゼン：3, エタノール：3, メタノール：7, ジメチルスルホキシド：223</p>	<p>〔人畜〕 マウス♂：2149 マウス♀：1654 〔魚類〕A コイ：>10 ミジンコ：>40</p>
<p>プロベナゾール probenazole</p> <p>オリゼメート Oryzemat</p>	<p>3-allyloxy-1,2-benzisothiazole 1,1-dioxide 3-アリルオキシ-1,2-ベンズイソチアゾキシド</p>  <p>白~淡黄色結晶, m. p. 138, 水：不溶, アセトン・クロロホルム：可溶</p>	<p>〔人畜〕 マウス♂：2750 マウス♀：2220 〔魚類〕B コイ：6.3 ミジンコ：>40</p>
<p>イソプロチオラ isoprothiolane</p> <p>フジワン Fuji-one</p>	<p>diisopropyl 1,3-dithiolane-2-ylidene malonate 1,3-ジイソプロチオラン-2-イリデンマロン酸ジイソプロピル</p>  <p>m. p. 50~51, b. p. 167~169/0.5, 水：50 ppm, 有機溶媒：可溶</p>	<p>〔人畜〕 マウス♂：1350 マウス♀：1200 〔魚類〕B コイ：6.7 ミジンコ：>35</p>



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

キノドール® 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

近畿大学教授・平井篤造

神戸大学教授・鈴木直治共編

—第2版出来—

感染の生化学 —植物—

A5版 474頁

2800円 千200円

前編—糸状菌および細菌病

* 感染 (神戸大学農学部教授・鈴木直治) * 細胞壁と細胞膜 (香川大学農学部教授・谷 利一) * 呼吸 (北海道農業試験場病理昆虫部技官・富山宏平) * 光合成 (農業技術研究所病理昆虫部技官・稲葉忠興) * 蛋白質代謝 (近畿大学農学部教授・平井篤造) * 核酸代謝 (京都大学農学部助教授・獅山慈孝) * フェノール物質の代謝 (東北大学農学部教授・玉利勤治郎) * ファイトアレキシン (島根大学農学部教授・山本昌木) * ホルモン (農業技術研究所生理遺伝部技官・松中昭一) * 毒素 (鳥取大学農学部教授・西村正暘)

後編—ウイルス病

* 感染 (近畿大学農学部教授・平井篤造) * 呼吸 (岩手大学農学部教授・高橋 壮) * 葉緑体 (名古屋大学農学部助手・平井篤志) * 蛋白質代謝 (植物ウイルス研究所研究第1部技官・児玉忠士) * 核酸代謝 (岡山大学農学部助教授・大内成志) * 感染阻害物質 (九州大学農学部助手・佐古宣道)

農業技術協会刊

東京都北区西ヶ原1-26-3 (〒114)

振替 東京 176531 TEL (910) 3787 (代)

ゆたかな実り—明治の農薬



いもち病の防除に

新発売

オリゼメート粒剤

野菜・かんきつ・もも・こんにゃく
タバコの細菌性病害防除に

アグレプト水和剤

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

トマトのかいよう病特効薬

ノボビオシン 明治



明治製薬株式会社
東京都中央区京橋2-8

昭和五十二年
九月二十五日
発行
（植物防疫
第三十卷第十号）
昭和二十四年
九月三十日
第三十卷第十号
發行
（植物防疫
第三十卷第十号）
昭和二十四年
九月三十日
第三十卷第十号
發行
（植物防疫
第三十卷第十号）

米づくり農家の常備薬。



がちりしていて、しかも病気に強い、そんな稲をつくるのが、米づくり農家の願いです。クミカが開発した省力いもち病防除剤キタジンPは、いもち病のほか、もんがれ病、小粒きんかく病を防ぎ、倒伏に強い稲を育てます。いい米づくりに、クミカのキタジンPを。

キタジンP 粒剤

キタジンP粉剤
キタジンP乳剤



●お申込みは皆様の農協へ

自然に学び自然を守る



クミアイ化学

東京都台東区池之端1-4-26

実費四〇〇円（送料二九円）