

綜 説

A Critical Review of Integrated Control of Insect Pests. Keizi KIRITANI, Takafumi SASABA and Fusao NAKASUJI (Division of Entomology, Prefectural Institute of Agriculture and Forest Science, Kochi).

害虫の総合防除—生態学的方法—桐谷圭治・笹波隆文・中筋房夫（高知県農林技術研究所）

1. はじめに

農業による環境破壊や食品中の農薬残留などから、農薬の使用をできるだけ減少させなければならない事態にたちいたった現在、総合防除技術にかけられている期待は大きい。しかし総合防除の本質や、具体的な研究の方法についての議論がおざなりにされ、目新しい防除手段の開発にばかり目を奪われている傾向が無きにしもあらずである。ここでは生態学的観点から総合防除の考え方、農業生態系の把握の方法、いろいろの防除手段の長所短所、具体的な総合防除の試みなどについて述べたい。

総合防除は1965年ローマでひらかれたFAO主催のシンポジウムで「各種の防除手段を互に矛盾しないように有機的に調和させながら併用することによって被害が経済的許容水準（Economic Injury Level, 以下E. I. L. という）以下に維持されるように害虫の発生を統御する防除体系」と定義されている¹⁰⁹⁾。しかし桐谷、中筋⁸⁷⁾は、総合防除体系はより厳密には農業生態系外への影響も含めた管理技術でなければならないことを指摘した。これらの定義から、総合防除を構成する重要な概念として防除手段、E. I. L. および農業生態系があげられる。これらの概念は他方では生態学的方法論にもとずいて統一的に理解されなくてはならない。

2. 農業生態系と動物相の貧困化

1) 農業と害虫

自然の生態系の極相は、エネルギー転換を最大にする系であるのにたいし、人間が自然に働きかけて作ったいわゆる農業生態系は、高い生産性をもたらす系であるといえる。したがってこの2つの系には、いくつかのちがった特徴がある。その特徴を農業生態系からみると、次のことがあげられよう。①太陽エネルギーの最大限の利用をめざすため、できるだけ食物連鎖の低い段階での生態系が作られる。なぜなら、食物連鎖が緑色植物→草食動物→肉食動物と進むにつれて、その1段階ごとに非常に大きなエネルギーの損失があるからである。②農地では、作物以外の動植物群集や、作物をとりまいて構成される食物連鎖の成立を排除しようとする。そのため、農業生態系内の生物の相互関係は、非常に単純なものになる。③経営的観点から、

単一作物の大面積栽培が必然的ともなってくる。

この3つの特徴は、いずれも農業生態系の単純化と不安定化を必然的ともなうのである。Bey-Bienko¹⁰⁾は、キルギスステップの処女草原を麦畑にした場合の昆虫相の変化を追跡した。その結果、何千年にもわたって形成されてきた処女草原の生物相は、わずか1年で驚くばかりの変化をうけた。草原にいた330種の昆虫は、約40%の142種に減少したのに反し、1m²あたりの昆虫の個体数は、逆に約2倍に増加した。また優占種の数は、麦畑では処女草原の約半数になったにかかわらず、全個体数のうちで優占種のしめる割合は、処女草原の54%から実に94%にもなり、少数独占の傾向が顕著にみられた。また Southwood & van Emden¹⁰²⁾は、草地の農道の雑草を刈ったところと刈らないところの昆虫相を比較した結果、刈ったところでは特定の昆虫の個体数の増加と捕食性動物の比率の減少がみられることを報告している。これらの事実、農業生態系では優占種と非優占種の差がより明瞭になり、少数の種(vanden Bosch & Stern¹¹⁵⁾はkey pestsとよんだ)が全個体群の大部分を占めることを意味している。このように、農業は人類が最初におこなった大規模な自然の破壊と規定できる。

2) 農薬と害虫

人間の自然への働きかけによって作られた農業生態系は、生物相の貧困化にともなう特定昆虫(害虫)の増加をもたらしたが、害虫防除に用いられた殺虫剤、それも戦後に登場した有機合成殺虫剤は、生物相からみた農業生態系の貧困化を、さらに加速度的に進めた。英国ケント州におけるリンゴ園の例は、とくに顕著である¹²¹⁾。その変化の様子をまとめたのが第1表である。1900年のはじめにいた60種の害虫と40種の天敵は、タール浴や機械油の使用によって、徐々に害虫相の単純化が進行しているが、戦後のDDT、BHCの使用はわずか2、3年の間に、過去数十年の生物相の変化以上の激変をもたらしている。しかも被害はほとんど軽減されていないのである。

わが国のリンゴ園については、広瀬¹²²⁾によれば、戦前30~60種くらいが主要害虫とされていた。現在各県の防除対策害虫としてリストにあげられているのは10数種類、防除のゆきとどいたリンゴ園では、ハダニのほか1~2種類になったという。このような害虫相の貧

第1表 英国のリンゴ園における50年間の昆虫相の変化 (Massee, 1952)⁷³⁾

年 代	1900—20	1921—30	1931—40	1946—48
害 虫				
キジラミ	+	—	—	—
カイガラムシ	+	—	—	—
アブラムシ	+	—	—	+
フュシヤクガ	+	+	+	—
コドリंगा	+	+	+	+
ハナゾウムシ	+	+	+	—
ハダニ	—	+	+	+
メクラカメムシ	—	+	+	—
天 敵				
ハナカメムシ	+	—	天敵激減	捕食性ダニを含
テントウムシ	+	—	(メクラカメムシ1種のみ)	む天敵40種ほと
				んど全滅
注	害虫60種 天敵40種 存在していた	冬期に タール浴散布	タールに代り DNOC/石油 を散布	DDT, BHC 散布

+) 増加または多数, —) 減少または少数

困化は、他方では天敵相の貧困化がそれ以上に進んでいることを同時にしめしている。リンゴ園でのミドリヒメヨコバイ、キンモンホソガ、カイガラムシ類、ハマキ類の防除のために用いた DDT・ホリドールの使用は、ハダニの各種の天敵を殺してしまったため、生き残ったハダニの個体数は急速に回復・増加し、結果的に殺ダニ剤の散布をよぎなくさせられる。1950年の初めは殺虫剤の平均年使用回数が3回、殺ダニ剤の使用も0.5回程度であったのが、10年後には殺虫剤は6回、殺ダニ剤は3回となり、その悪循環は深まるばかりである (広瀬)³³⁾。

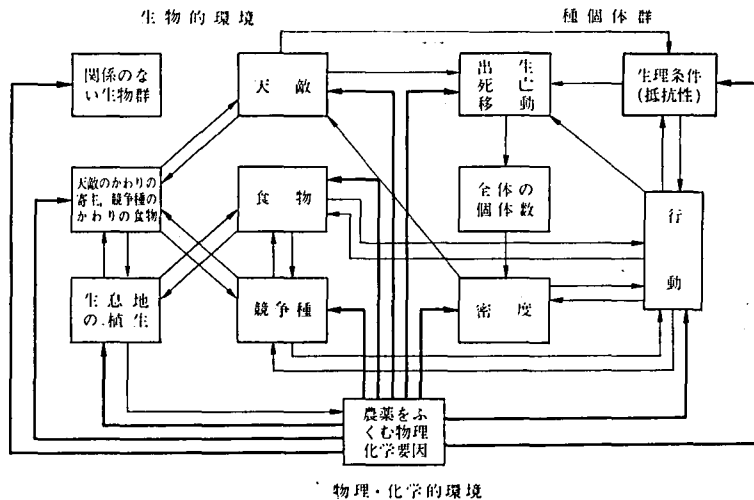
殺虫剤の乱用が、皮肉にも、土着性天敵の重要性を示すことになった例は、このほかにも多数ある (たとえば DeBach¹⁸⁾, Edwards²⁴⁾, Wallace¹¹⁸⁾, Huffaker & Kennett³⁸⁾), Ripper⁹¹⁾ によれば、DDT など有機合成殺虫剤の登場後約10年間に、すでに世界で13科50種について、農薬散布による害虫の異常発生がおこっている。これは殺虫剤散布が、目的とした害虫だけでなく、その害虫もしくは潜在的害虫の天敵を殺したためである。これらの事実は、われわれにあらためて、害虫は農業生態系にすむ各種の昆虫の氷山の一角であり、そのかげには多数の潜在的害虫が、土着性天敵によって E. I. L. 以下の密度におさえられていたことを示してくれた。

中筋ら^{81,124)} は牧草・そさい害虫のハスモンヨトウについて、「もし天敵なかりせば」を示す野外実験をおこなった。自然条件下では、卵から蛹までの20日間に、99.8%の死亡が働いたのにたいし、ゴースの網を

かけ、内部を殺虫剤で処理し、天敵のはたらきを除外した条件下では、死亡率はわずか62%であった。このように、自然条件下において土着性天敵は、害虫の個体群密度を抑圧するうえで重要な働きをしている。それにもかかわらずハスモンヨトウは、最近各種そ菜や牧草の重要な害虫となってきた。これはハウス栽培の面積の増加による越冬量の増加や、そ菜・牧草の栽培面積の増加がその原因と考えられている。同じ死亡率でも密度が高いと、それだけ加害個体数は多くなり、被害が増す。また卵から成虫までの死亡率が同じでも、生存曲線が初期死亡型か後期死亡型かによっても、被害のあらわれ方が大きく異なってくる (第3章および第9図参照)。個体群生態学における個体群密度の自己制御の問題は、応用的には、害虫個体群の生存曲線と加害時期、ならびに加害期の平均密度とのかかわりあいとして問題が提示されてくる。ここに防除の意義もあるのである。

3) システム化の試み

以上のように農業生態系は、自然の生態系にはみられないいくつかの特徴を持っている。しかし、農業生態系のある1種の昆虫をとりあげてみると、その種個体群とそれをとりまく生物学的・非生物的要因とがひとつの生活系をなしていると考えられる。Clarkら¹⁶⁾ はこれを生活系 (life system) とよんだ。その構造は Solomon¹⁰⁰⁾ により、模式図として比較的うまく表わされている。第1図にこの模式図をやや改変して示した。生態系はこれら多数の生活系から成立しているのである。

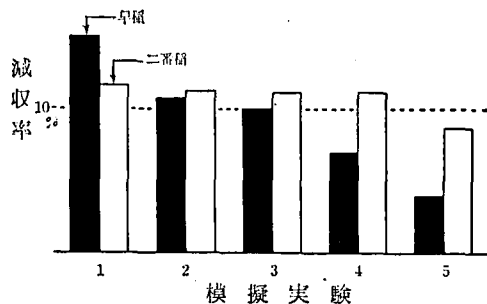


第1図 SOLOMON¹⁰⁰⁾ が示した種の生活系 (life system) の構造。ここでは農薬が生活系にもたらす直接的影響 (太線) と間接的影響 (細線) をとりあげた。

このようなことから、種個体群の生活系をシステムとして記載し、複雑な生物的法則性を総合的にとらえていこうとする試みがある。Watt¹²⁰⁾ はこれをシステムズ・アナリシスとよび、システム化の順序として次の5つの段階をあげた。①自然のいろんな要因 (変数) の働きあい方の測定、②変数間の働きあい方から、あるシステムの調節に重要な働きをする変数の決定と解析、③複雑な生物系をモデルとしての記載、④システムを管理するための考え方や戦術の検討のための、モデルを用いた実験、⑤最も適当な戦略の決定の5つである。Watt¹¹⁹⁾ は、害虫防除の戦略と戦術をコンピューター・プログラムから、640万エーカーの森林を対象に、もみの木の落葉を例に検討している。そこで、殺虫剤 (DDT) の散布量、天敵や微生物が害虫の出生率、死亡率さらには行動・分散に与える影響をいくつか仮定し、防除費用との関連で考察している。一方 Southwood¹⁰¹⁾ は害虫の個体数変動に与えるいくつかの要因、とくに天候、空間、食物、天敵の影響を評価した上で、それぞれの要因を組み込んだ害虫の管理が必要であることを強調した。そして農業は勿論のこと、最終的には人間の存在をも考慮したシステムから、害虫の管理がなされるべきであるとし、そのあり方をいくつかのフロー・チャートで表現している。しかしながら、具体的にシステムズ・アナリシスを行なうことは容易ではない。これまで得られてきた個別の研究における、生物系での要因間の相互作用についての情報は、必ずしも十分でないからである。

総合防除で最も重要なことは、害虫が E. I. L. に到達することを予知し、最も適当な方法で害虫を E. I. L.

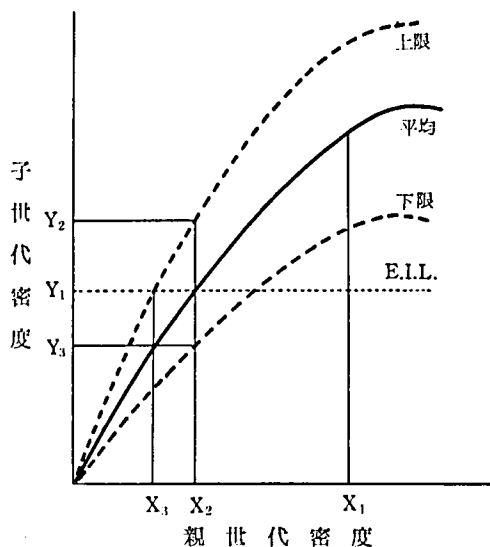
以下におさえることである。そのためには、害虫の密度変動機構と被害が生じる過程がモデル化されていない。桐谷・中筋⁶⁷⁾ は、イネ萎縮病ウイルス (RDV) を伝播するツマグロコバイについて、決定論的記載モデルから、ツマグロコバイの防除のあり方を検討している。RDV 伝播過程を記載するモデルはここでは省略⁷⁹⁾、このモデルにいくつかの仮定防除条件を入れた模擬実験についてふれる。模擬実験は次の5つの場合を仮定している。①全く防除しなかった場合、②越冬世代の保毒虫率のみを $\frac{1}{2}$ に防除した場合、③越冬世代成虫の密度のみを $\frac{1}{2}$ に防除した場合、④第1世代の保毒虫率を $\frac{1}{2}$ に防除した場合、⑤越冬世代虫の密度を $\frac{1}{2}$ にし、第1世代の保毒虫率を $\frac{1}{2}$ に防除した場合。これらの場合に予想される RDV 発病株率をモデルから計算し、中筋・野村⁷⁹⁾の方法によって玄米減収率で表わした (第2図)。模擬実験②、③のような処理ではみるべき防除効果はみられない。模



第2図 模擬実験から予想される RDV による玄米減収率。点線は慣行防除法の減収率を示す⁶⁷⁾。

擬実験③は、慣行的に行なわれているような苗代の薬剤散布によって、越冬世代成虫を防除する方法にあたる。しかし、経験的にも苗代への飛び込み成虫によるRDVの伝播を、薬剤で防ぐことは非常にむづかしく、実際みるべき効果があがっていない。模擬実験の結果も、この方法があまり効果的でないことを示している。この慣行防除法による減収率を一応の基準とおけば(第2図点線)、この基準よりすぐれた防除効果が期待できるのは、模擬実験④および⑤の場合である。模擬実験④については、井上・中筋³⁰⁾が提案した早稲苗代を寒い砂で被覆する方法で実現できると思われる。もしこの方法を広域にわたって実施できれば、全く薬剤散布をしないで無防除の域に減収をおさえることができる。模擬実験⑤は、従来の方法では早春の雑草中の越冬世代のツマグロコバイを広域防除する方法である。ヘリコプター散布などによる全面広域防除は、苗代の個別防除の約2~3倍の防除効果をあげているといわれている。これらの事実は模擬実験③と⑤の減収率の差をよく説明している。しかし薬剤による全面いっせいの防除やヘリコプター散布は、害虫の薬剤抵抗性の獲得をうながすばかりでなく³⁰⁾、ドリフトによる環境汚染などの問題があり、理想的な防除法とはいえない。この点に関して、笹波・川原³¹⁾や桐谷ら³²⁾は天敵を使って防除できる可能性を示している。

ここに述べた例は決定論モデルからのシミュレーション



第3図 不確定要因が働かない場合(実線)と働く場合(点線)の増殖曲線からみた要防除密度。当世代は被害を与えないが次世代にはE.I.L.以上に密度が増えると被害が出る。X₁は現在の害虫密度、X₂は、次世代に被害がみられる密度。Y₁, Y₂は不確定要因が働く時の次世代に被害が出る最少密度と最高密度をそれぞれ示す。

である。しかし実際には、気候条件などの不確定要因が働き、モデルの予測性を狂わす。昆虫の増殖様式を簡単にしかもうまく現わしている、いわゆる増殖曲線からこの問題を考えてみる(第3図)。現在の害虫密度がX₁とすると、次世代の密度は大幅にE.I.L.を越えてしまう。次世代をE.I.L.以下にしようすれば、密度をX₂まで下げなければならない。この場合の防除努力を害虫の個体数の比であらわすと、 $\frac{X_1 - X_2}{X_1}$ となる。ただしこの場合は害虫個体数変動に不確定要因がほとんど働かなかった場合である。これに対して、不確定要因が働く場合には密度をX₂まで落しても次世代の密度はY₂とY₃の間で変動する。したがって防除もこの変動をみて行なわれる必要があり、確実に次世代密度をE.I.L.以下にするためにはX₃まで下げなければならない。その防除努力は $\frac{X_1 - X_3}{X_1}$ となる。すなわち前の例では $\frac{X_1 - X_2}{X_1} \times 100\%$ の殺虫率で被害を防止できるのに後の例では $\frac{X_1 - X_3}{X_1} \times 100\%$ の殺虫率を要求される。高い殺虫率を意図すれば散布回数、使用濃度が増し、増殖曲線の型に基本的な貢献をしている天敵類や競争種も減少させることになり、このシステムはますます不安定化し、不確定要因による影響を受けやすくなる。われわれが害虫の総合防除において、生態系の成り立ちを重視するのも、E.I.L.以下に害虫の密度を安定化して制御する新しい農業生態系の創造をめざしているからに他ならない。

3. 防除手段

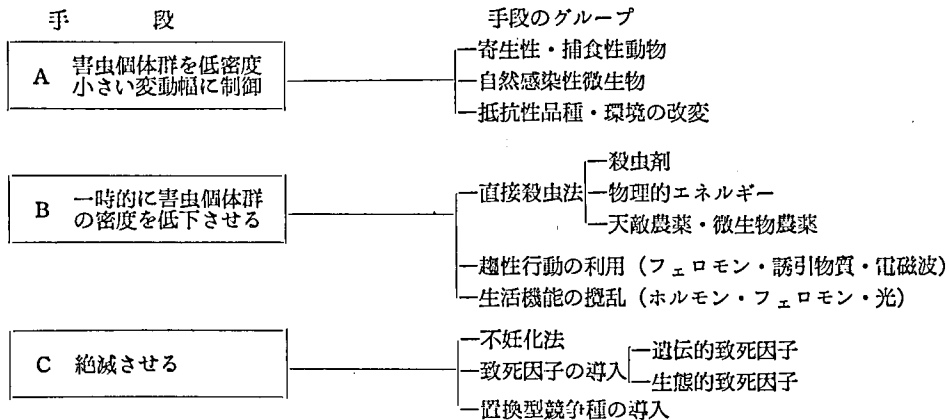
1955年にアメリカ農務省(USDA)のKnipplingが公表した害虫防除の新しいアイデアは、害虫防除のために大量の害虫を放飼するというそれまでの防除技術の常識とかけ離れたものであったため、世界の技術者を変え驚かせた。Knipplingのアイデアに従って、家畜害虫ラセンウジバエの雄をγ線で不妊化してベネゼラ沿岸のキュラソー島に大量に放飼した結果、半年の間にこの島のラセンウジバエが絶滅した³³⁾。この報告はいちはやく伊藤⁴⁰⁾によって日本にも紹介されたが、殺虫剤一辺倒に傾いていた大部分の日本の技術者達の関心を引かなかったようである。一方強力な殺虫剤が次から次へ登場する中でいささか色浅せた感じの天敵万能論者達は、農薬追討の旗頭としてKnipplingの偉業をほめたたえた。後で述べるように、天敵を用いる防除法と不妊化法は実は全く異なった防除哲学のうえに成立しているのである。ともあれ、Knippling以来いろいろな学問分野の地味な基礎研究の中から次々と新しい防除手段のアイデアが生まれてきた。ホルモンやフェロモンの利用、害虫個体群への致死遺伝子の導入、光で休眠を破り不適当な環境下で自滅させる方法

などである。最近わが国でもこれらの各種防除手段の検討が活発に行なわれるようになってきた。この傾向は一応好ましい方向であるが、外国生まれのこれらの手段を無批判にとり入れようとする傾向や、特定の手段を強調しすぎる手段万能主義の台頭には十分警戒しなければならない。

1) 各種の防除手段の整理

防除手段を全般的に詳しく紹介したものとして Kilgore & Douth Ed.⁵⁴⁾ の綜説がある、各種の防除手段の比較に先立って、それぞれの防除手段を整理して体系化しておかなければならない。Watt¹¹⁹⁾ は殺虫剤、天敵動物、病原微生物、不妊化法、性誘引物質、環境の改善の6つの範ちゅうを設け、手段の適用時点とその後の害虫個体群の変化の大きさや持続性などについて比較した。伊藤⁴¹⁾ は各種の防除手段を、結果として昆

虫の個体数を増す、直接または間接に取除く、あるいはそのままであるかによって整理した。Clark¹⁸⁾ は手段の働き方から、遺伝的組成の変更や放射線による不妊の放飼など内的要因によるものと、殺虫剤や天敵などの直接的死亡要因や、誘引剤忌避剤など生活機能の攪乱、また抵抗性品種などの必須物の不足など、外的要因によるものにまとめて整理した。また河野(私信)は防除手段の有効性から、(害虫の)低密度適用技術(例えばフェロモン)と高密度適用技術(例えば病原微生物)に分類しようとしている。また前者を予防的技術、後者を臨床的技術ともいっている⁶⁷⁾。Watt や Clark らの整理は極めて常識的であり、伊藤のそれはやや興味本位である。河野の整理は生態学的であるが、各種手段の働きを単純に評価しすぎている。元来このような整理は一長一短があるが、第4図



第4図 各種防除手段の整理を示すシエマ

では防除手段を適用するにあたって、期待する目的によって整理した。一般に、手段Aは害虫個体群に対して密度依存的に働き、害虫の個体群密度を自動的に制御することを期待できるものである。天敵や微生物はそれ自体にこのような作用が期待できるし、他の手段は環境の収容能力を下げたり害虫の増殖能力を下げたりして、その後の害虫自身の密度調節機構を期待するものである。他方手段Aと比較して、手段B, Cはすべて害虫個体群に一方的に作用を加えようとするものである。特に手段Cの場合は、そのような作用に動物

の本質的な性行動などを利用して自滅に導くような特質をもっている。もちろんはじめにも述べたように、これらの手段の採用＝目的達成とはならないことが多い。手段の誤った使い方は目的とは全くちがった結果を導くこともありうることは、あらためて強調する必要はないと思う。

2) 各種防除手段の特徴と限界

i) 個体群密度の制御を目的とした手段(A)

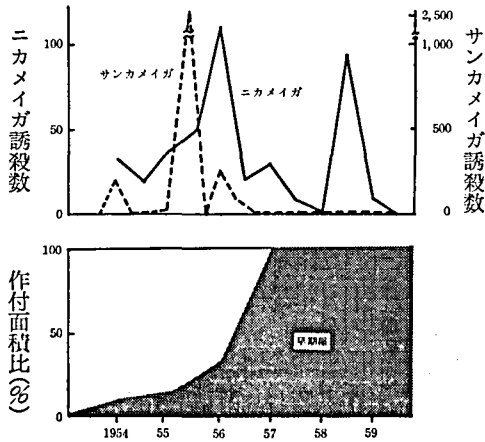
寄生性・捕食性動物：これを用いた防除法については、DeBach Ed.¹⁹⁾ の詳しい解説がある。DeBach

第2表 農薬以外の各種防除手段による防除の成功率

	防 除 例 数	完 全 に 成 功 (%)	ほ ぼ 成 功 (%)	部分的成功または不成功 (%)
輸入天敵昆虫 ¹⁹⁾	225	29.3	39.1	31.6
放射線による不妊化法 ^{41,70,80)}	35	11.4	28.6	60.0
不妊剤による不妊化法 ^{83,90)}	9	0.0	22.2	77.8
フェロモンの利用 ^{47,92,97)}	8	12.5	12.5	75.0

品種の考え方として van Emden & Wearing¹¹⁷⁾のア
ブラムシのモデルに示されたような、相対的抵抗性品
種を天敵など他の手段の働きを助長させるように利用
する研究が中心にならねばならない(第4章-2参照)。

環境の改変の最も単純な例として、穀物を低温貯蔵
して害虫の増殖をおさえる方法や、また特に意識して
行なわれたものではないが、イネの早期化によってサ
ンカメイガ、ニカメイガがイネですべての世代を完了
し得なくなり密度が低下した例などがある。

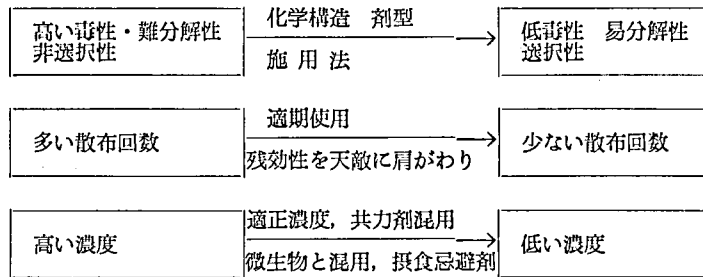


第5図 鹿児島県里村における早期稲の作付面積
の増加とサンカメイガ、ニカメイガの誘
殺数の減少

第5図に鹿児島県里村の1954年以降の早稲栽培面積
の増加とサンカメイガ、ニカメイガの各世代の年間誘
殺数を示した。これを見るとイネにより依存性の高い
サンカメイガは、早稲栽培が普及しおえた1957年には
殆んど絶滅した。他方や雑食性のニカメイガは絶滅
はしていないが、1957年ごろから減少しはじめている。
このような環境条件の変更にによって害虫の平均密度を
下げることが可能である。

ii) 一時的に密度を低下させる手段(B)

直接的殺虫法：この中で最も普通に用いられている
ものは殺虫剤であろう。殺虫剤ほど害虫の被害を回避
するうえで、一時的にしろその効果の高い手段は他に
類をみない。総合防除体系における殺虫剤の将来のあ
り方を、われわれは第6図のように考えている。薬剤
の性質については主として農薬化学の研究成果に待つ
ところが大きい。既に低毒性選択性などの性質の改良
への努力はかなり行なわれている。そのほか難分解
性の塩素系殺虫剤でも、水田条件では分解が早いこと、
あるいは選択性も剤型によって大幅にことなることな
ど、化学構造以外の改良も必要である。散布回数の減
少については、適期防除をおこなうことによって、水
稻では現行の殺虫剤散布回数も収量の低下を招くこと
なく半減しうることが実証されている(第4章-3参照)。
また天敵に残効性の肩がわりをさせるような農薬の使
用法についても第4章で述べる。低濃度で農薬を使用
する可能性を検討することは、最近混合剤や粒剤・微粒



第6図 総合防除における農薬のあり方

剤などの開発の過程で殺虫剤濃度が増加傾向にあるこ
とから、特に重要な問題である。低濃度殺虫剤の第1
の可能性は、当然防除に必要な最少限の濃度の再検討
である。また低濃度の使用によって、殺虫剤の選択性を
増すことも可能であろう。その他の方法としては、共力
剤を併用して害虫の感受性を高めること²²⁾、摂食忌避
剤として農薬を使用する方法²³⁾、*Bacillus thuringi-*
ensis など微生物と混用して微生物の stresser として
使用する¹¹²⁾ などの方法である。例えばマラソン抵抗
性のコクヌストモドキに、共力剤を加えたマラソン

を施用すれば、190倍も感受性を高めることができる²³⁾。
またカーバメイト剤の或るものは、殺虫剤として使用
する濃度の10分の1で或る種のガの幼虫の食害をおさ
えるし²⁰⁾、別のカーバメイトは40~100ppmの濃度で
ワタミゾウムシの食害をおさえるという⁷¹⁾。このよう
に観点を変えて殺虫剤を見直していけば、殺虫剤を低
濃度で使用できる可能性はいろいろ考えられるが、こ
のような農薬の新しい使用を定着させるためには、こ
れまでのように害虫を何パーセント殺したかで殺虫剤
の有効性を判断する毒物学的価値観から、農薬の施用

によってどの程度生産が高められたかという生態学的価値観に改める必要がある。このためには一般的に適用できる被害解析の方法が重要になる。

物理的エネルギーによる殺虫法には電磁波や超音波の利用があげられる。これらのエネルギーで加熱または衝撃を与えて殺す方法である。やや特殊な例であるが、貯蔵害虫や木材害虫には化学的くん蒸法が有効であるが、電波、赤外線、弱い放射線を用いても防除できる⁸²⁾。あるいは物理的衝撃を与えて穀粒内の害虫を殺す方法もある⁸⁾。しかし現在では化学的くん蒸法より高価につくため実用技術として使用されていない⁸³⁾。
・天敵農薬や微生物天敵については手段Aで触れたので省略する。

趨性行動の利用：この方法は一般に誘殺法といわれるもので、フェロモンの研究を中心に最近非常に脚光を浴びてきた。しかしフェロモン以外にも、メチルオイゲノールなどの化学物質や赤外線、可視光線などの電磁波などがある。

カイコガの性フェロモンがエステルとして単離に成功し、これをけん化してアルコールとすれば、 10^{-10} $\mu\text{g/ml}$ というきわめて低い濃度で活性を示した⁸³⁾。さらに人工的に合成されたフェロモンはより活性が高く、 10^{-12} ~ 10^{-13} $\mu\text{g/ml}$ で有効であった¹¹³⁾。そこでこの高活性の生理活性物質を追求すれば、殆んどの害虫を絶滅させうるのではないかという期待をうみ、フェロモン研究の大きなブームが生まれた。フェロモンや後に述べるホルモンについては、石井³⁹⁾の詳しい総説がある。実際にフェロモンを利用した防除の試みは、Butenandt 一派がカイコガで研究をはじめた時より以前の1931年から1932年にわたって、すでにチェコスロバキアの Dyk によって行なわれている⁷²⁾。ノンネマイマイガの処女雌を小さな箱に入れ木の幹にとりつけ、周囲にハエトリ紙をはりつけておくと、おびたしい数の雄成虫が誘殺された。

第2表にフェロモンを用いて意識的に行なわれた防除実験例の成功率をあげた。8例の試みのうち、Howland がタマナキンウワバの性フェロモンをブラックライトと併用して、2.4ヘクタールの面積を用いてかなりの防除効果を認めた例と⁸⁸⁾、Roelofs ら⁸²⁾がリンゴのハマキガの1種 *Argyrotaenia velutinana* の発生が少ないリンゴ園で見事な成功をおさめた以外は、みるべきものはない。Roelofs ら⁸²⁾は Knipling & McGuire⁶⁵⁾ のモデルを発展させて、フェロモントラップに対する野生雌のフェロモンの競合率、成虫羽化のパターン、成虫寿命などを組み込んだモデルを作成し、このモデルを用いて野外での防除効率を予測した。ハマキガが多発生していた8ヘクタールのリンゴ園に、2,400の合成フェロモントラップを設置した。このト

ラップ数では40%の被害果が出ることが予想され、実際の調査では32パーセントの被害果がみられた。もしこの園で被害果を5パーセント以下にしようとすれば実に42,000のトラップが必要になる。他の6ヘクタールのリンゴ園では、前年のNACの散布によって密度は前記のリンゴ園の20分の1以下であった。この園に1,100のトラップを設置することによって、92~99パーセントの防除率が期待され、実際に被害は皆無であったという。この実験はフェロモンによる防除は密度がかなり低い時にしか実用性がなく、しかも当初の高活性の物質であるという予想に反し、自然のフェロモンに競合できるためには、多数のトラップを必要とすることを示した例である。また複雑な昆虫の趨性行動を利用しようとするところに他の多くの困難な問題を伴う。例えばタマナキンウワバの雄の左右に性フェロモンと白熱電球をおくと、雄の大部分は光の方向に向う⁸⁷⁾。しかし光にフェロモンをプラスすると、誘引力はいちじるしく増す。最近性フェロモンが必ずしも種特異的でないことが知られてきた。コナマダラメイガの雄の性フェロモンはスジコナマダラメイガやノシメコクガと同一化合物であるという。このような場合でも自然状態では見事な隔離がおこなわれているが⁸⁸⁾、人工的に使用すれば、生態系の攪乱を起こす可能性もある。また多くの昆虫で個体間のコミュニケーションの方法が必ずしも単一でないことから、将来フェロモンに対して鈍感な系統の淘汰の可能性もあり⁸⁹⁾、さらに単為生殖雌が存在する昆虫には雄をどんどん取除くことにより、雄を産出する単為生殖雌の生存価がまし、これが雄をつぎつぎと補充するなどの事態も予想される⁴⁾。ほんらい次の項で述べるべきことであるが、フェロモンの他の利用法として、大量のフェロモンを散布して自然の行動を攪乱しようとする試みも考慮されている。しかし合成フェロモンが天然物より活性が高いという Butenandt ら¹²⁾ の例はむしろ珍らしく、Jacobson⁴⁷⁾ が合成した gyppure の散布実験でも、合成品が野生雌のフェロモンを打ち消すほどの効果をもたずに失敗している¹¹⁾。以上のことから現状ではフェロモン利用は防除の補助的手段と考える方が妥当であろう。

生活機能の攪乱：これは生活のリズムを乱したり、行動や発育の異常を起こさせる方法であり、光、ホルモン、フェロモンなどの利用が考えられる。可視光線は夜行性昆虫の活動抑制や摂食・産卵抑制の効果が期待できる⁸⁸⁾、¹⁰⁴⁾。前者の場合、吸収性ヤガ類の点灯防除としてわが国でもかなり普及している。Stanley¹⁰⁴⁾によると320ヘクタールのワタ畑に、15ワット電球を12個つけて夜中照明しつづけると、ワタミゾウムシの密度は無処理に比べて86パーセント、幼虫で96パーセ

ントの減少がみられたという。これらの光が作物に異常をきたさない限り、この方法はもっと見直されて良い方法である。Barker ら⁸⁾ はモンシロチョウの幼虫に夜非常に短時間光を当てるだけで休眠誘起を防ぎうることを発見した。いわゆる“light breaks”という方法である。もし昆虫が休眠しなければ生活できないような条件下で、休眠が破られれば自滅する以外にない。Ankersmit²⁾によると、リンゴの苗木につくヤガの1種 *Adoxophyes reticula* を夜中に40ワット白色蛍光灯で2分間照明することによって、80パーセントの幼虫が休眠にはいることをさまたげたという。彼の野外実験結果は余り信用できないが、室内実験の結果はこの可能性を支持している。これと似た働きはホルモンでも期待できる。ただしホルモンの場合には、休眠中のものに処理して休眠を破る研究が中心である²⁵⁾。

発育異常を起こす物質として、ホルモン及びその類似物について多くの実験例がみられる。Williams¹²²⁾ はホルモン剤のこのような利用を、「第3の殺虫剤時代」として高く評価している。しかし Spielman & Skaff¹⁰³⁾ はファーソネルから分離されたホルモン類似物質をネッタイシマカに用いた時、DDT より高濃度でなければ死亡しないと述べている。また脱皮ホルモンは比較的安定な物質であるほか甲殻類に悪い影響

をもつし、植物の生長にも影響を及ぼすことも最近分ってきた^{14, 15)}。さらに Ellis²⁵⁾ は、生物が自己のホルモンの分解能力をもつ以上、ホルモン剤散布の淘汰によって抵抗性も出てくるだろうと不吉な予想をしている。またワタミゾウムシに幼若ホルモンを処理したところ、大型の幼虫が現われてかえって被害が増した例があるともいわれている。このようにホルモン剤も、Williams が第三の殺虫剤として喜ぶほどには有望なものとは考えられない。

最近 Ikeshoji & Mulla^{36, 37)} は、カの幼虫が高密度で生息する水から幼虫の発育を阻害する物質を抽出した。この物質の効果は同種個体のみならず、異種の個体にもおよび、殺菌作用もあるという。この“overcrowding factors”と呼ばれる未知の物質の本体がつきとめられれば、防除手段の1つとしての可能性があるほか、これまで個体群生態学の中で殆んど哲学的に論じられていた密度調節機構の物質的基礎を与えるものとして興味深い。

iii) 害虫の絶滅を目的とする手段(C)

不妊化法：ラセンウジバエのほく滅に成功したKnippling は、一躍応用昆虫学会のちょう児になったが、かれが比較的低密度で大害を与える家畜害虫で最初に不妊化法を試みたことは大変幸であった。第3表から明らかなように、他の害虫の試みに比べて、ラセンウ

第3表 放射線不妊化法で放飼した虫の個体数

害 虫 名	年 次	場 所	放飼虫数/km ² /週	成 功 の 有 無	文献番号
ラセンウジバエ	1951~53	サナイベル島	40	ほぼ成功	9
	1954	キュラソー島	40~150	絶滅	9
	1958~60	フロリダ	150	絶滅	70
	1962~65	テキサス	30	ほぼ成功	70
	1965~	カリフォルニア	80~300	ほぼ成功	70
チチュウカイミバエ	1963	コスタリカ	5万~61万	やや減少した程度	49
	1965~67	中央アメリカ	5万8千~7万8千	1シーズンだけ絶滅	3
ミカンコミバエ	1960~62	ロタ島	3万	失敗	107
	1964	西太平洋諸島	2万	失敗	107
ウリミバエ	1962~64	ロタ島	6万3千	ほぼ成功	107
クインスランドミバエ	1963~64	NSW	2万3千	やや減少した程度	76
ヒロズキンバエ	1956~57	ハリー島	4000	失敗	20
ハマダラカの1種	1959	フロリダの小島	1400	失敗	121

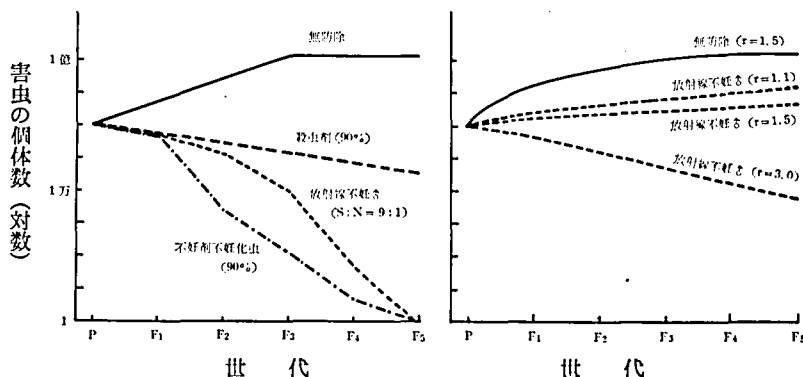
ジバエの放飼虫数は二桁も三桁も少ない。しかも試みた殆んどの場合に輝かしい成功をおさめたのである。われわれが取扱っているツマグロヨコバイで放射線不妊化法の適用を考えてみよう。Kiritani ら⁶¹⁾はこの害虫の生命表から、水田で最も密度の低い第1世代羽化成虫数は、イネ1株当たり1.3頭となり、1平方キロメ

ートルでは2,700万頭に当たる。羽化期間を3週間とし、性比を1:1と考え、しかも野外雄成虫に対して不妊雄をわずかに1:1の割合で放飼するにしても、毎週平方キロメートル当り400万頭の放飼虫が必要になり、第3表のどの例と比較してもおよそ非現実的な数になる。農業で99%減らした時はほくミバエ類と同じ位の放

飼虫になる訳である。不妊化法は決して一般的な防除法でない。

第2表に放射線と不妊剤による不妊化法の防除例の成功率を示した。前者で40パーセント、後者で20パーセントの成功率ということになる。しかし放射線不妊化法についてみれば、完全な成功のほとんどがラセンウジバエについてのものでその他の害虫については失敗例が非常に多い。またコフキコガネで試みられた1例を除いて、他はすべて双翅目昆虫で試みられていることも特徴の1つである。これは大量飼育の可否が原因

している。失敗例の大部分は隔離不十分、放飼虫数不足、放飼虫の活動力や生存率が野生の個体にくらべ低いためであった。またラセンウジバエの絶滅に成功したフロリダの場合でも、しばしば輸入牛などについてラセンウジバエが侵入し、そのつど大量に放飼して防がねばならない事態に直面している⁷⁰⁾。Knippling⁶⁴⁾は不妊化法で害虫を絶滅させる可能性についてバラ色の理論モデルを提案した。その1例をグラフで示した(第7図左)。一般に不妊雄放飼の場合は、害虫の密度が低くなるほど加速度的に有効に働き、不妊剤の散布



第7図 左. 害虫個体群に対する殺虫剤 (90%の防除効率), 放射線不妊化雄放飼 (最初の世代の野生雄個体数 (N) に対して9倍の不妊化雄 (S) を毎世代放飼する) 及び不妊剤による不妊化 (90%不妊化) 法の影響。但し、飽和密度1億2千5百万頭に至るまでは毎世代5倍ずつ増殖する。性比は1:1 Knippling (1964)⁶⁴⁾ を作図。

右. 上記のモデルについて、害虫の個体数が $N = \frac{125,000,000}{1 + e^{15 - 0.0001t}}$ のロジスティック曲線に従って増殖すると仮定した時の不妊雄放飼が与える害虫個体群への影響。パラメータ r には図中のような任意の値を与えた。

の場合は高密度条件で有効であるが、低密度になると不妊化の効率が悪くなる。しかし Knippling のモデルによると、どちらの方法でも農薬では不可能な短い期間に絶滅が可能であるということになる。しかし害虫個体群密度の変動は、一般に Knippling が考えるほど単純ではない。例えば密度依存的に増殖率が変わるとだけ仮定しても、話はとたんに重大な壁につき当たる。さきに示した Knippling のモデルの仮定のうち、害虫の増殖率が一定であるところをロジスティック増殖するとおきかえただけで、なかなか絶滅しない(第7図右)。このように害虫個体群の増殖が、密度依存的であると仮定したとき、不妊雄放飼では無防除の時よりやや低いレベルで安定するにすぎない(Geier¹²⁰⁾)。

不妊剤による不妊化法については、もっと技術的に困難な問題が多い。現在明らかにされている多くの不妊剤は毒性が極めて強い(第4表)。しかもガラス板に散布した TEPA や metepa は30日間有効であったという報告⁷¹⁾などからも、残留性についての恐れも大

第4表 不妊剤と殺虫剤のラットに対する毒性の比較

薬 剤 名	経口毒性 LD ₅₀ (mg/kg)	文献番号
不妊剤 Metepa	136	27
TEPA	37	
Apholate	98	
殺虫剤 EPN 乳剤	354	84
マラソン粉剤	800	
DDT 乳剤	250	

きい。しかも最も致命的なことは、大部分の不妊剤が発がん物質であることであり⁸⁰⁾、その使用の場は著しく限られてしまう。また Hazard ら⁸¹⁾によればネックタイシマカを11世代 apholate で淘汰した時、4~5倍の感受性の低下がみられるなど、抵抗性の事例も数例知られている^{83,89)}。以上のように不妊化法は一般的に有効な防除手段になるためには、多くの技術的に困難な問題をかかえている。

致死因子の導入：この手段には大きく分けて2つの考え方がある。第1に野外の個体と交雑することによって、子世代が不妊になったり異常な個体をつくるような遺伝因子をもった個体を野外に放飼する方法で、遺伝的致死因子または、遺伝的不和合の導入といわれる方法である。この奇抜なアイデアで最初に害虫を防除しようと試みたのは Vanderplank¹¹⁶⁾である。かれは眠り病の媒介虫ツエツエバエの1種 *Glossina morsitans* の防除のために、この種と交雑すれば不妊の雑種をつくるもう1種のツエツエバエ *G. swynnertoni* を放飼した。両方とも眠り病を媒介するが、後の種は前の種の棲む灌木地帯に適さないため、うまくいけば両方の種が無くなる筈であろうと考えた。この試みは失敗したようであるが、かれこそ不妊化法の創始者であった訳である。Downes²¹⁾ はカナダのマイマイガの雌に日本のマイマイガの雄を掛け合せると、次世代の雄は正常になるが、雌は不妊の閏性をつくることから、日本産マイマイガの雄をカナダに放飼することによって防除できるのではないかと考えている。Burdick はウスグロシウジョウバエの娘知らず致死因子をもつ個体を、和歌山県の酒造会社の酒倉に放飼して密度を減らした⁴²⁾。また Laven⁷¹⁾ は野生個体と遺伝的不和合になる系統のアカイエカを大量に放飼し、その地域のアカイエカを殆んど絶滅させた。Curtis¹⁷⁾ はツエツエバエでもう少しこの考えを積極的に応用しようと考えている。かれは放射線を照射して相同転座染色体 (translocated homozygote) をもつ個体をつくる。このような個体は数百頭に1頭の割合で得られるといわれている。これが野外の個体と交雑すると heterozygote をつくり、次世代の雑種の中から致死結合ができて増殖率が低下する。転座染色体は homozygote の個体によって個体群内に維持されるので、かなり長期間にわたって放飼の効果が持続されるのが特徴である。以上に述べた手段は従来の遺伝学の中では殆んどかえりみられていなかった劣性学 dyngenics という独自の領域からうまれてきたものであり、学問の最も基礎的研究が応用分野で有効なものになることを示した例である。

生態学的致死因子の導入については、例えば野外で増殖期に致死因子をもつ系統や越冬不可能な因子をもつ系統を室内で増殖して放飼すれば、これらと交雑した野外個体の次世代は野外では生存し得ないで死亡するだろうという。LaChance & Knipling⁶⁹⁾ の考え方などがこれに当る。もう少し具体的な例を示そう。オーストラリアのコオロギの1種 *Teleogryllus commodus* は、その生息地域によって休眠する系統と非休眠の系統が得られる。これらの系統間の交配では非休眠性が優勢になる³⁴⁾。したがってもし非休眠の系統を

大量に休眠系コオロギの生息地域へ放飼すれば、次世代の子供は非休眠になり不適当な季節に生きのびることができず、自滅するだろうと考えられる。しかしこれもまだ理論的段階であるが、害虫の地域個体群の生理生態学的な系統の性質の究明によって、このような手段を開発し得る可能性がある。

置換型競争種の導入：この手段についても現時点では仮説的段階であり、実際に防除に用いた例は見当らない。しかしいくつかの生態学的研究の中には、この可能性を示しているものがある。戦後新しくイネの害虫として登場したミナミアオカメムシには近縁のアオクサカメムシがある。宮崎県や和歌山県の一部では、現在ミナミアオカメムシの単生地帯がみられる。両地帯ともイネの早期栽培が行なわれるまでは、両種が混生またはアオクサカメムシが優占種であった。イネの早期栽培はイネを好むミナミアオカメムシの一方的増加をもたらし、年々アオクサカメムシに対するミナミアオカメムシの比率が増加した。両種は非常に近縁なうえ、寄主植物もほぼ共通している。両種の混生地帯では種間交尾が全交尾例の30パーセントにも達し、これらからは不受精卵しか生まれない。このためミナミアオカメムシの比率が圧倒的に大きくなると、その地帯のアオクサカメムシは種内交尾のチャンスがなくなり最後のとどめをさされることになる。こうしてイネの早期栽培地帯では、かつて優勢だったアオクサカメムシはミナミアオカメムシに完全に置換えられる⁵⁹⁾。この例では両カメムシとも害虫であるため防除例にはならないが、もしアオクサカメムシが主要作物の害虫でありミナミアオカメムシが雑草しか食害しないとしたら、アオクサカメムシの防除のためにミナミアオカメムシを導入することが考えられるであろう。ミナミアオカメムシが雑草を有効に防除してくれたらまさに一石二鳥である。またカなどのように成虫期しか害虫にならないものについて、幼虫期の競争種の導入が考えられる。

アメリカのロックフェラー財団が、巨費を投じて、1947年からサルジニア島でマラリア原虫の媒介虫ハマダラカの1種 *Anopheles labranchiae* を殺虫剤で防除し全滅しようとした。結局殺虫剤で全滅はできなかったようであるが、*A. labranchiae* の個体数が著しく減少した後、マラリアを媒介しないハマダラカの1種 *A. hispaniola* が置き変わり、*A. labranchiae* は再び増加しなかったという¹⁾。ここまでは競争種にうまくおき変えた例として良く引き合いに出される有名な話であるが、実はこれには失敗談のおまけがついている。島中をよく調べてみると、他の所では *A. saccharovi* というマラリア媒介ハマダラカが置き変わっていた。この種は1947年から1950年の間に調べた

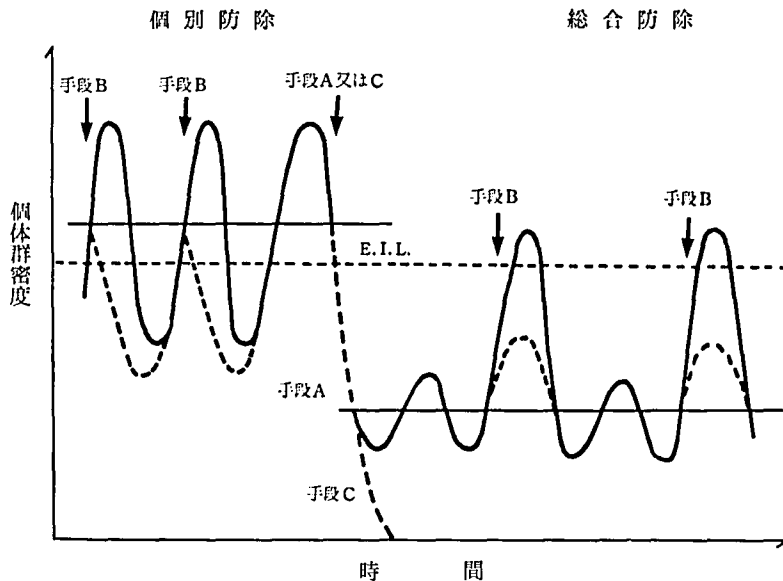
1,400万頭のハマダラカの中には見い出されなかったものである⁹⁾。このように競争種として導入した昆虫が新たに害虫化する危険性を十分検討しておく必要がある。

いずれにしろ、手段Cの絶滅法は衛生害虫や家畜害虫のように低密度でも害を及ぼすようなものに対して、しかも絶滅させることによって生態系を大きく乱さないような場合に限って求められる方法であり、むしろ特殊な場合に限られる。さらにもしこの手段で絶滅させ得たとしても、その後の不時の侵入に備えて常に大量の放飼用の虫を飼育しておかねばならずこの目的のためには国家的または国際的な技術センターのような強力な機関がなければならないだろう。小笠原諸島における岩橋⁴⁴⁾のミカンコミバエの移動の研究では、父島の南約50キロメートルの母島で3,000匹のマーク虫を放飼したところ、父島で9匹も回収され、台風のような異常な条件下でなくとも長距離の移動を行なっていることを示した。このような行動の基礎的研究をも

とに計画されなければ、いたずらに費用と労力の空費になりかねない。なぜならハワイのチチュウカイミバエの不妊化法では、何世代もかけて密度を減らしても、放飼を中止して2世代でもとの密度に回復した例¹⁰⁰⁾などもあるからである。より安全のためには、絶滅をさせた後害虫の占めていた生態的ニッチェ (niche) を、より無害な昆虫に置き変えておくような処置も真剣に考える必要がある。また手段Cは一時的に害虫の密度を下げる手段としても有効であるはずであり、必ずしも絶滅を前提にする必要はないことはいうまでもない。

3) 総合防除における各手段の役割

害虫個体群の密度を E. I. L. 以下に管理するために、これまでに述べてきた手段 A, B, C がそれぞれどの役割を担うべきかということを考える必要がある。一般に害虫個体群は高い平均密度を中心に、大きな変動幅で変動している。すなわち第8図の左のような状態にあるといえる。従来の個別防除は、農薬などの手段Bを用いて、点線の状態に一時的に密度を低下させてい



第8図 総合防除における各種手段の役割を示す模式図。手段 A, B, C については第4図参照。実線は無防除の時の害虫の個体数の変化、点線は防除した時の変化をそれぞれ示す。

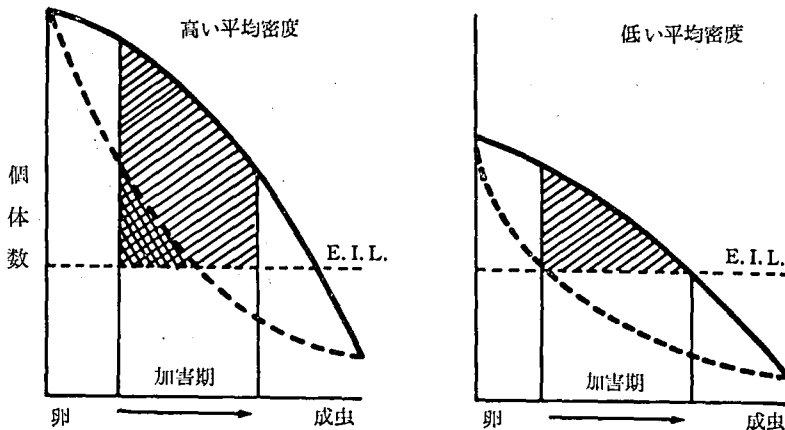
たにすぎない。ところで或る時点で有効な手段AまたはCを導入すれば、害虫の密度は第8図右のような変動になると予想される。手段Cの場合は絶滅し、手段Aの場合低い平均密度のまわりで小さな変動をする。笹波・川原⁹⁰⁾はこのような天敵の働きによる害虫密度の変化を、増殖曲線を用いて明確に説明している。しかし、もし手段AまたはCが有効でなければ、以前の状態に戻ってしまうだろう。手段Aが有効に害虫の密度を下げるためには、その働きが密度依存的である以

外にそれまでの害虫の死亡率に対して、手段Aが付加的にプラスに働くか、生存率に対して付加的にマイナスに働くようなものでなければならない。手段Aが有効に働いて害虫密度を低いレベルに下げたとしても、農業生態系は原始林のように安定した生態系と異なっており、多かれ少なかれ不安定であることは避けられない(第2章)。もし環境が害虫にとって好ましいか、手段Aにとって不利な変化が起こると、害虫は手段Aの作用の範囲からエスケープして E. I. L. を越えてしまうだ

ろう。このような時に手段Aの働きを破壊しないか、またはむしろ助長するように手段Bを導入して、再び手段Aの作用が有効な範囲に害虫の密度を下げる必要がある。

次に害虫の1世代内の個体数の変化から害虫の特徴

をみてみよう。第9図の実線は高い平均密度をもつ害虫(左)と、それより低い平均密度をもつ害虫(右)の生存曲線であるとする。斜線部は被害があらわれることを示す。低い平均密度の害虫の場合は、必ずしも増殖率を低下させなくても、初期死亡を増大させるような



第9図 生存曲線からみた害虫のタイプ。実線は防除を行わない場合、点線は初期死亡を増加させるような防除手段を適用した場合の生存曲線、死亡率はいずれの場合も90%であるとした。斜線は無防除、交叉斜線は防除した時の被害の程度を示す。

手段Bの働きで、被害をまぬがれることができるだろう(点線)。一方高い平均密度をもつ害虫に対しては、初期死亡を増加させる手段の導入のみでは不十分である(点線及び交叉斜線)。この場合増殖率そのものを低下させて、第9図右のようなレベルに移行させるような強力な手段を必要とする。特に後者の場合手段Aの導入の成功不成功が重要な鍵になると思われる。

もう1つの害虫の型として、第2章で述べたように平均密度はE.I.L.より低いけれども、時々急激な増殖をしてE.I.L.を越えてしまうようなものがある。例えばアヲウトウなどがその例である。このような害虫に対しては、手段Aの中でも害虫密度の変動を小さくするような働きの強い手段の導入を真剣に考える必要がある(第2章参照)。

4. 総合防除の具体例

1) カナダにおける土着性天敵の利用によるコドリंगाの防除

カナダ・ノバ・スコシアのアナポリス盆地はリンゴ産地で、この地方の重要な輸出産業であった。1941年第二次大戦の勃発によって、リンゴの輸出は大打撃を受け、その翌年から生産コスト、とくに防除費の引き下げを要求されることになった。Pickett ら⁸⁹⁾は新しいコドリंगा防除のための研究にとり組んだ。戦後

DDTの登場により、コドリंगाの被害はかなり効率的に減少した。しかしDDT散布区では、もし翌年殺虫剤を使用しないと大きな被害を受けるのにたいし、ライアニアによるその年の被害防止はDDTより劣るが、翌年の被害はたとえ殺虫剤を使用しなくても低くすることができることをみた(第5表上)。これはライアニアにくらべ、DDTは天敵類に悪い影響を与えるためであることも明らかとなった(第5表下)。そこでPickett ら⁸⁹⁾は害虫の密度がE.I.L.を越えたときのみ殺虫剤を使用するようにし、その場合もライアニアなどの天敵に影響の少ないものを、補正的に使用することを試みた。この方法による防除と、これまでの慣行防除との経済効果を比較したのが第6表である。Pickett らの提案する防除方法が如何に効率のよいものであるかは明瞭である。この研究成果は防除費用を下げる努力をしてきたノバ・スコシア地方の伝統にささえられて、急速に一般農家に受け入れられ、現在同地方のリンゴが、欧州のリンゴ産地であるスイスやスカンデナヴィア諸国に、逆に輸出されるまできている。またこのような防除法のおかげで、世界的に問題となっているハダニ類の殺ダニ剤抵抗性もみられていない。

以上は、土着性天敵をたくみに生かすことにより成功した例である。ではこの防除法がそのままリンゴ産

第5表 コドリンガの防除効果と天敵相の変異⁸⁸⁾
コドリンガの防除効果

年	殺虫剤	幼虫侵入口 (%)	シンクイのリンゴ (%)
1950	DDT	1.0	1.0
51	なし	5.0	38.0
52	砒酸鉛	21.0	32.0
53	ライアニア	7.0	0.2
54	なし	0.4	1.4

天敵相の変異

種 類	DDT	ライアニア
捕食性アザミウマ	9	293
メクラカメムシ類	3	151
テントウムシ類	0	9
カメムシ類	1	14
膜翅目	41	252
クモ類	15	98

第6表 リンゴ園の防除法のちがいによる経済効果⁸⁹⁾

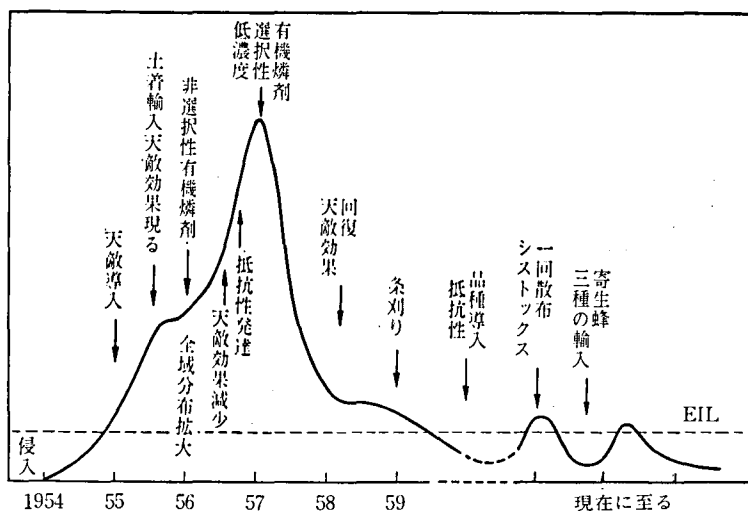
	修正防除方式*	慣行防除方式
散布回数	殺菌剤	8.3
	殺虫剤	2.8
	計	11.1
経 費	0.63ドル/樹	1.14ドル/樹
収穫(無被害果)	211.4 l	158.6 l
被害率(果実)	25%以下	25~35%

*) 殺虫剤は天敵に影響の少ないライアニアを使用する。殺菌剤はそうか病にたいして予防的に使用する。

地のどこにでも適用できるのだろうか。オーストラリアの東南地方では、コドリンガは年3回発生し、無防除でおくと約95%の被害果がでる。Geier²⁸⁾の計算によると、もしノバ・スコシアにみられた天敵がそのまま働いたとすると、コドリンガと天敵のバランスは成立するが、毎世代の虫の攻撃を受けるため、ノバ・スコシアの約4倍以上ものしんくい果の被害が予想された。ノバ・スコシアでの成功には、次の条件が背景としてあったのである。①リンゴの成育期間が短いこと、②冷涼な条件のため、コドリンガが年1回しか発生しないこと、③300年以上ものリンゴ栽培の歴史があるためリンゴ園には複雑で安定した生態系が成立しており、卵、若令、老令幼虫を攻撃する天敵相が豊富なこと、④冬期に越冬中のまゆを、キツツキが多数捕食するため、翌春の天敵類の効果が高まること、これらのことは、生態学的な研究にもとづかないたんなる物真似では、総合防除は成功しないことを如実に物語っている。

2) 北アメリカの移入害虫アルファルファブラムシの防除

アルファルファブラムシが北アメリカで最初に発見されたのは、1954年カルフォルニアにおいてであった。その後2年間に、北アメリカのアルファルファ栽培地の全域に分布を拡大し、牧草害虫の重要害虫のひとつとなった(第10図)。その間土着、移入天敵や微生物などによる防除が試みられたが、その発生が異常であったこともあって、1956年から非選択性殺虫剤による防除が始められた。しかしこれは天敵の効果を減殺したばかりでなく、アブラムシの抵抗性の獲得によって、被害を増加させることになった。そこで1957年、選択性殺虫剤の使用と天敵の利用がとりあげられた。



第10図 カルフォルニア州におけるアルファルファブラムシの防除経過

その結果、1957年には実に34億9千万円といわれた被害が、翌年の1958年には6億1千万円と約6割に減少した。その後条刈り、抵抗性品種の導入、殺虫剤散布回数の減少、さらには天敵の追加導入などにより、現在ではほとんどその被害はみられなくなっている。

アルファルファを条刈りすれば、全面刈りする場合よりもアルファルファアブラムシの発生は少なくなる。これは条刈りによって、寄生蜂 (*Aphidius smithi*) の生息場所が保証されることによることが、Smith & van den Bosch⁹⁹⁾ によって明らかにされている。これとは別に、van Emden & Wearing¹¹⁷⁾ は十字花科の植物とそれに寄生する2種のアブラムシ (モモアカアブラムシとダイコンアブラムシ) の防除に、抵抗性品種の利用の可能性を検討した。いま非抵抗性品種でのアブラムシの雌あたり産卵数を176とすると、捕食者が働いてもアブラムシは増加し、E.I.L. を越えてしまう。これにたいし抵抗性品種で、アブラムシの産卵数が100に減少した場合を考えると、捕食が働かなければE.I.L. を越えてしまうものが、捕食者が働くことによって、アブラムシの個体数が長期間E.I.L. を越えないで維持される。すなわち抵抗性品種や天敵が、それ自身では十分な効果をもたらすことができなくても、2つが組み合わさることによって防除効果があがるのである。アルファルファの輸入天敵による防除が、ラホントンなどの抵抗性品種の採用によって始めて成功したもの、このような機構にもとづいたものであろう。

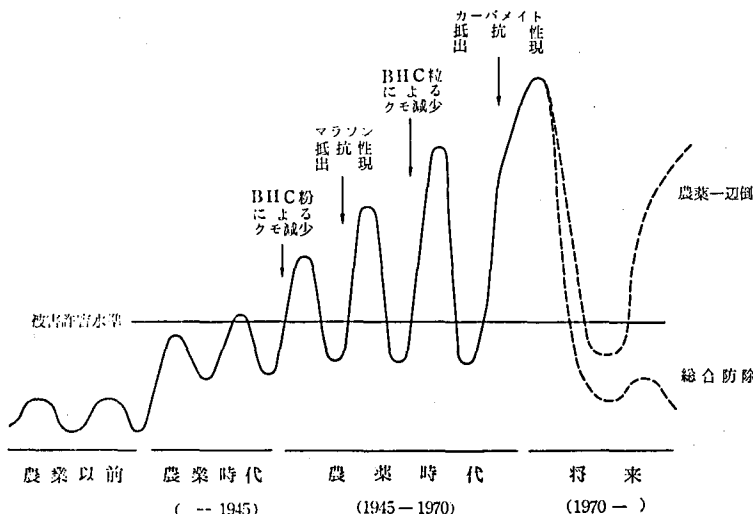
3) 水稻害虫ツマグロヨコバイの防除

BHC によるツマグロヨコバイの害虫化

ツマグロヨコバイはその吸汁による加害とともに、

イネの萎縮病ウイルスを媒介する vector として、西日本における水稻の主要害虫となっている。しかしツマグロヨコバイが水稻の主要害虫となったのは、そんなに昔のことではない。西日本におけるツマグロヨコバイの誘殺数は、BHC、パラチオン導入後急激に増加した。BHC やパラチオンは、ニカメイガやサンカメイガの防除のために用いられたのである。他方、水田に生息するクモの種類は13科70種以上もあり、そのうちごく普通にいるのは、8科10種くらいである (小林⁶⁸⁾、川原ら⁶⁹⁾。これらのクモ類、とくに優占種であるドクグモ類やコサragモ類は、ツマグロヨコバイを好んで捕食する。圃場での直接観察によれば、その食餌の50~75%がツマグロヨコバイによって占められている。また、圃場に発生したツマグロヨコバイのクモ類に捕食される割合は、時期によって異なるが、かなり高い率である。ところがクモ類は、BHC にたいして特に弱く、ドクグモ類およびコサragモ類のLC₅₀ は、それぞれツマグロヨコバイのLC₅₀ の2%、6%である。このため、BHC を散布した水田ではクモ類が極端に少なくなる。一度減少したクモ類は簡単には密度を回復することができない。水稻栽培期間中、全く殺虫剤を使用しなかった圃場と、BHC にくらべクモ類に比較的影響の少ない有機リン剤やカーバメイト系殺虫剤を使用した圃場とで、イネの収穫後11月末から3月中旬まで、10日おきにクモ類の密度を調べてみると、無防除田では平均53頭/m²にたいし、防除田では22頭、BHC 粒剤施用田では9頭となった。

このような状態が毎年くりかえされると、ついには水田からクモ類がほとんど姿を消してしまうことになり、クモ類の捕食から解放されたツマグロヨコバイは、



第11図 ツマグロヨコバイの害虫化の模式図

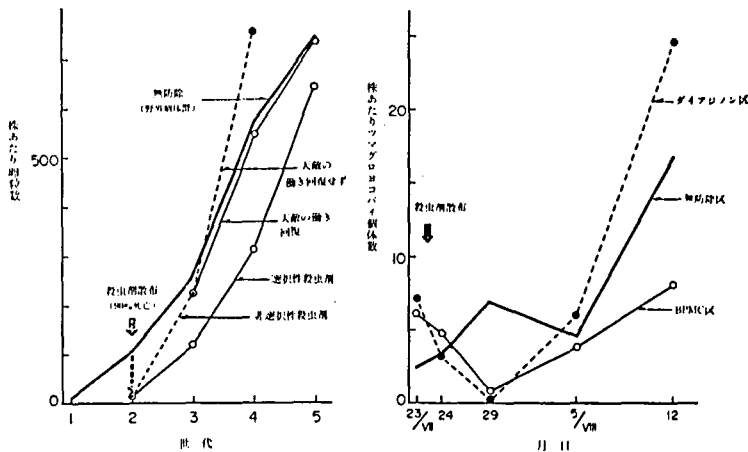
どんどん増加することになる。これに対処するために用いられたマラソンには、使用後約6年目に、高知県をはじめ西日本各地で、ツマグロヨコバイの抵抗性が発達するに至った。この間にも BHC は用いられていたため、つねに BHC でクモを殺すことによって、ツマグロヨコバイの増殖をはかりながら、対症療法的にマラソンを使用していたことになる。抵抗性の発達は、同じ淘汰圧なら、個体群サイズが大きいほど早くなる^{59,60)}。いいかえれば BHC の使用により、マラソン抵抗性の発達を側面的に助長していたのである。また、クモ類への影響がないと考えられた BHC 粒剤も、食物連鎖を通じてクモ類への致死効果のあることが、川原ら（準備中）によって明らかにされている。さらには、マラソンにかわるカーバメイト系殺虫剤の抵抗性問題が愛媛・広島両県でおこっている。この経

過を Moore⁷¹⁾ のシェマを参考にして、第11図に示した。

このようなツマグロヨコバイの害虫化の歴史をふりかえってみると、ツマグロヨコバイの増加を防ぐためには、まずニカメイガ防除薬剤を BHC 以外の、クモ類に影響の少ない殺虫剤にかえるとともに、ツマグロヨコバイやウンカ類の殺虫剤をクモ類に影響のない選択性殺虫剤にかえる必要がある。

選択性殺虫剤の使用と天敵の効果

われわれは1969年春より、クモ類がとくに感受性の高い塩素系殺虫剤をニカメイガの防除に使用することを規制した。他方、現在市販されているツマグロヨコバイ剤のうちで、最もクモ類に影響の少ない殺虫剤として BPMC 2-sec butylphenyl-N-methylcarbamate を選んだ。第12図右には、BPMC 4%粒剤とダイアジ



第12図 選択性殺虫剤の使用と天敵の効果（詳しくは本文参照）

左：モデル計算から求めたツマグロヨコバイの個体数変動
右：野外試験で得られたツマグロヨコバイの個体数変動⁶²⁾

ノン4%粒剤をそれぞれ反当3kg 施用し、その防除効果を比較したものである⁶²⁾。散布後ツマグロヨコバイの個体数は、両区とも激減したが、その後の個体数の回復にははっきりした差がみられた。散布後20日目(8月12日)には、ダイアジノン区は BPMC 区の3倍以上となり、無散布区を上まわっている。クモ類の捕食効果を間接的に示す、クモ類にたいするツマグロヨコバイの比率は、散布前、散布後1日目、6日目ではほとんど変らなかったが、散布後20日目には、ダイアジノン区は BPMC 区の約4倍にもなり、効率的なクモ類の捕食効果が期待できなくなった。このような状態では、ダイアジノン区ではさらにもう1回の散布が必要であるが、BPMC 区ではその選択性により、散布後のツマグロヨコバイの個体数の回復を、クモ類の働きによって遅らせることができるといえる⁶²⁾。一方、殺

虫剤散布によって、もし天敵の働きがなくなった場合、ツマグロヨコバイの個体数はどのようになるかを、初步的な模擬計算から評価した。1966年より始めたツマグロヨコバイの生命表の研究から、その個体数変動はかなり緻密な密度依存機構によって調節されていることが明らかにされた (Kiritani *et al.*⁶¹⁾)。この結果から、発育段階毎の個体数変動は、第7表に示した比較的簡単な式で記載できる。同時に、天敵である卵寄生蜂とクモ類の働きも、第7表2,4,6式から評価できる。いま、ツマグロヨコバイのある世代で殺虫剤を散布した場合を考え、用いる殺虫剤に、ツマグロヨコバイの天敵に何ら影響をおよぼさないもの(選択性殺虫剤)と完全にその働きをなくすような影響をおよぼすもの(非選択性殺虫剤)の2つの極端な場合を仮定する。ツマグロヨコバイの第1世代の株あたり卵粒数を10と

第7表 ツマグロヨコバイの個体数変動を予測するモデル^{81,95,96)}

	天敵が働いたとき (野外個体群)	天敵が働かなかったとき
卵粒数(E_n) と 1 令幼虫数(L_1)	$L_1 = 0.36E_n^{0.89} \dots \dots (1)$	$L_1 = 0.44E_n^{1.05} \dots \dots (2)$
1 令幼虫数(L_1) と 5 令幼虫数(L_5)	$L_5 = \frac{60}{1+e^{-0.08(L_1-40)}} \dots \dots (3)$	$L_5 = \frac{60}{1+e^{-0.08(L_1-40)}} + \frac{1}{100}(-0.09L_1+49.98) \times L_1 \dots \dots (4)^*$
5 令幼虫数(L_5) と 羽化成虫数(A_n)	$A_n = 0.79L_5 \dots \dots (5)$	$A_n = 0.79L_5 \dots \dots (5)$
羽化成虫数(A_n) と 次世代卵粒数(E_{n+1})	$E_{n+1} = 142.9 \left[A_n - \frac{1}{100} \times (-0.55A_n + 75.20) \times A_n \right]^{0.43} \dots \dots (6)^{**}$	$E_{n+1} = 142.9A_n^{0.43} \dots \dots (6)$

*) クモ類による幼虫捕食率(%) = $0.09L_1 + 49.98$ **) クモ類による成虫捕食率(%) = $-0.55A_n + 75.20$

し、無処理区の以後の数の変化を計算すると、第12図左・太線で示したようになる。第5世代には約740となり、理論的平衡密度744.7にほぼ達する。一方第2世代(106.1)で殺虫剤を散布し、個体群を90%死亡させたとする。完全な選択性殺虫剤では、第3、4世代でツマグロヨコバイの個体数は無処理区の約1/2となる。これにたいし、完全な非選択性殺虫剤では、第3世代ですでに無処理区の水準まで回復しているし、さらにこの状態がもう1世代続くと、無処理区以上に増加してしまうことが予想された。

第12図に示したツマグロヨコバイの個体数の変化が、全く規を一にしていることは、選択性殺虫剤の利用による防除が、単に天敵保護ということにとどまらず、天敵助長剤としての働きを期待することができることを示唆している。散布後の害虫の回復を天敵で肩代わりし、おさえるのである。このことは、殺虫剤散布回数の減少につながり、ひいては農業生態系の安定化をもたらしうものと考えられる。

散布回数の減少

そのほかわれわれは、殺虫剤の剤型や散布時期のちがいが、天敵の働きと相まって、防除効果にどのようなちがいをもたらすかを検討している。適期防除による散布回数の減少についての検討結果を、農薬の使用回数と収量の関係で第8表に示した。実験圃場で用いた除草剤はMO粒剤、2,4,6-trichlorophenyl-4'-nitrophenylether 殺菌剤は紋枯病にたいしてネオアソジン粉剤を、ともに反当り4kgを散布した。一般農家では、殺虫・殺菌剤をあわせて平均6.3回使用し、平均250kgの収量であったのにたいし、実験圃場の1例では、その1/2の2回の使用だけで、一般農家なみの収量(246kg)があった。BPMC粉剤はトビイロウンカの異常飛来に対して散布したもので、この散布は毎年必要であるというものではない。したがって、トビイ

第8表 殺虫剤の散布回数と収量の関係
(1970, 高知県安芸市, 跡作水稻)

圃場の 種類	調 査 圃場数	散 布 回 数			10 a あたり平均収 量 (kg)
		除草剤	殺菌剤	殺虫剤	
一般農家	7	不明	2	4.3	250
実験圃場	2	1	1	3	270
実験圃場	2	1	1	2	265
実験圃場	1	1	1	1	246
実験圃場	1	1	1	0	108

ロウンカの飛来が被害をもたらしう程のものでなければ、散布の必要はなくなる。これとは別に、高知県下14カ所でおこなった実験圃場では、一般農家より殺虫・殺菌剤の使用回数をそれぞれ平均1回ずつ(計2回)減らしたにもかかわらず、収量は平均5%増となった。これらの結果は現在の収量を維持するためには、農薬が必要であることを示すと同時に、現在の使用は過度の乱用であることをうら書きしている。

食品中の BHC 残留量の減少

前述のとおり、高知県では1969年より稲作から全ての塩素系殺虫剤を追放する運動を始めた。その結果、BHC などの使用量は前年の1/2程度になった。1969年末に牛乳のBHC汚染が問題になるにおよび、1970年からは県独自で、BHCを流通段階から出荷を禁止し、完全にBHCをしめ出すことに成功した。農林省も1971年度から、BHC、DDTの水稲への使用を禁止することになったことは衆知のとおりである。

高知県衛生研究所がおこなった、塩素系殺虫剤の残留量の追跡調査の結果を第9表に示した(西本ら⁸⁵⁾, Uyeta *et al.*¹¹⁴⁾。1970年度の全面使用禁止の効果は明らかで、同年12月の残留量は前年9月にくらべ、BHCで1/2, DDTで1/2, ディルドリンで1/2に低下しており、DDT、ディルドリンについては、WHOの残

第9表 高知県における牛乳中の塩素系殺虫剤の残留量の推移 (単位は市販全乳中の ppm)^{85,114)}

調 査 年 月	1969年9月	1970年6月	1970年12月	1971年3月	WHO 1969 PRL
α -BHC	0.066	0.031	0.015	0.019	
β -BHC	0.220	0.183	0.097	0.109	
γ -BHC	0.006	0.002	0.001	0.001	0.008
δ -BHC	0.011	trace	0.003	0.004	
全BHC	0.303	0.216	0.116	0.133	
DDE	0.005	0.003	0.003	0.004	
DDD	0.009	trace	0.003	0.004	
DDT	0.023	0.005	0.004	0.005	
全 DDT	0.037	0.008	0.010	0.013	0.050
デルドリン	0.010	0.007	0.002	0.005	0.005

留限界値を下まわっている。しかし BHC の残留量はかなり高く、限界値を十数倍うわまわっている。土壌ならびに牛の体内に残留した BHC は、なお各種の経過を通じて牛乳中に混入してくるのである。おなじような傾向は、同県産米の残留量についてもみられる(第10表⁸⁵⁾)。1968年は規制前、1969年は使用規制を始

第10表 高知県下10地点における玄米中の塩素系殺虫剤の残留 (ppm)⁸⁵⁾

産年度	Tech. BHC					Total DDT	Diel- drin	Para- thion
	α	β	γ	δ	Total			
1968	.08	.04	.02	.08	.18	n. g.	n. d.	n. d.
1969	.05	.04	.01	.05	.13	n. d.	n. d.	n. d.
残留許容量 (ppm)					0.3	0.3	検出 せず	検出 せず

めた年である。残留量は約30%低下し、全 BHC 量でも、 γ -BHC の残留許容量の $\frac{1}{2}$ 以下であるが、 β -BHC の毒性を考慮に入れると、0.1ppm 以下に下げる必要がある。1970年度産米の分析結果がまたれるところである。

5. おわりに

われわれは過去に、天敵万能主義^{*}、つづいて農薬万能主義の誤りをくりかえしてきた。もしわれわれが、過去の歴史の反省のうえに立たず、依然として手段万能主義の哲学に固執した場合、あらゆる利用可能な手段を無差別に使用した「総合防除公害」は、いったんそれがおこれば手をつけられないものになるであろう。手段論(第3章)でもみたように、いずれの手段も長所ばかりではなく、その長所もある条件下では短所と

^{*} とくに天敵万能主義の批判については、桐谷圭治：天敵の利用とその限界，科学朝日 7月号 (1971)を参照されたい。

なるのである。利用可能な手段を相互に矛盾なく使用するためには、その短所の認識こそ必要なのではなかろうか。

総合防除の思想は、自然にかえれの運動ではない。農業生態系の成り立ちの過程からも明らかなように、高い生産性を追求する農業は、それ自体が自然の変革ないしは破壊である。新しい安定した農業生態系の創造こそが、その最終目標である。ここでは、害虫と人類との平和的共存がむしろ積極的に保証されることにならなくてはならない。われわれは、先を急ぐことなく、「もっとも基礎的なことがもっとも応用的である」(伊藤・桐谷)⁴³⁾という確信にたつて、害虫の総合防除にとり組む必要があると思う。

引 用 文 献

- 1) Aitken, T. H. G. and H. Trapido : Intern. Union Conserv. Nature Nat. Resources Tech. Meeting, 8th, Warsaw 106 (1960).
- 2) Ankersmit, G. W. : *Ent. exp. & appl.*, 11, 231 (1968).
- 3) Anon, O. : *Bull. Intern. At. Energy Agency*, 9, 26 (1967).
- 4) Atkins, M. D. : *Can. Ent.*, 100, 1115 (1968).
- 5) 鮎沢啓次 : 科学朝日, 8号, 111 (1968).
- 6) Bailey, S. W. : *J. Stored Prod. Res.* 5, 311 (1969).
- 7) Bailey, N. T. T. : The mathematical theory of Epidemics. Charles Griffin & Company London, 194 pp (1957).
- 8) Barker, R. J. et al. : *Science* 145, 1195 (1964).
- 9) Baumhover, A. H. et al. : *J. econ. Ent.* 48, 462 (1955).
- 10) Bey Bienko, G. Y. : Verh. XI Intern. Kongr. Entom., II, Wien, 4 (1963).

- 11) Bugress, E. D.: *Science*, **143**, 526 (1969).
- 12) Butenandt, A. *et al.*: *Z. physiol. Chem.*, **324**, 71, (1961).
- 13) Cameron, J. W. M.: *Ann. Rev. Ent.*, **8**, 265 (1963).
- 14) Carlisle, D. B.: *Gen. and Compar. Endocr.*, **5**, 366 (1965).
- 15) Calisle, D. B. *et al.*: *J. Endocrin*, **35**, 211 (1966).
- 16) Clark, L. R. *et al.*: The ecology of insect populations in theory and practice. Methuene Co. Ltd. London, 232 pp (1967).
- 17) Curtis, C. F.: *Bull. Ent Res.*, **57**, 509 (1968).
- 18) DeBach, P.: *J. econ. Ent.*, **51**, 474 (1958).
- 19) DeBach, P. ed.: Biological control of insect pests and weeds. Chapman & Hall, 844 pp (1964).
- 20) Donnelly, J.: *Proc. 12th Int. Congr. Ent.*, London, 253 (1965).
- 21) Downes, J. A.: *Can. Ent.*, **91**, 661 (1959).
- 22) Dyte, C. E.: *Nature*, **216**, 298 (1967).
- 23) Dyte, C. E. and D. C. Rowlands: *Proc. 4th British Insectic. Fungic. Conf.*, **1**, 344 (1967).
- 24) Edwards, C. A.: 8th Intern. Congress of Soil Science, 879 (1964).
- 25) Ellis, P.: Pest articles and news summaries. Sec. A, 329 (1968).
- 26) Embree, D. G.: *Can. Ent.*, **98**, 1159 (1966).
- 27) Gaines, T. B. and R. D. Kimbrough: *Bull. World Health Organ.*, **31**, 737 (1964).
- 28) Geier, P. W.: *Australian J. Zool.*, **12**, 381 (1964).
- 29) Georgiious, G. P. and R. L. Metcalf: *J. econ. Ent.*, **55**, 125 (1962).
- 30) Hayes, W. J. Jr: Principles of insect chemosterilization. LaBrequé, G. C. and Smith, C. N. ed., 315, Appleton-Century-Crofts, New York, (1968).
- 31) Hazard, E. I. *et al.*: *Science* **145**, 500 (1964).
- 32) 広瀬健吉: 植物防疫, **15**, 9 (1961).
- 33) 広瀬健吉: 植物防疫, **18**, 5 (1964).
- 34) Hogan, T. W.: *Aust. J. Zool.*, **13**, 455 (1965).
- 35) Huffaker, C. B. and C. E. Kennett: *Can. Ent.*, **101**, 425 (1969).
- 36) Ikeshoji, T. and M. S. Mulla: *J. econ. Ent.*, **63**, 90 (1970).
- 37) Ikeshoji, T. and M. S. Mulla: *J. econ. Ent.*, **63**, 1737 (1970).
- 38) 井上孝・中筋房夫: 四国植防研究, **2**, 35 (1967).
- 39) 石井象二郎: 昆虫の生理活性物質, 南江堂, 196 pp (1969).
- 40) 伊藤嘉昭: 植物防疫, **10**, 17 (1956).
- 41) 伊藤嘉昭: 農業技術, **23**(7)11, (8)1, (9)1.
- 42) 伊藤嘉昭: 植物防疫, **23**, 31 (1969).
- 43) 伊藤嘉昭・桐谷圭治: 動物の数は何で決まるか, NHKブックス 260pp (1971).
- 44) 岩橋純: 昭和46年度応動昆大会講演要旨, 440 (1971).
- 45) Iwao, S. and W. G. Wellington: *Res. Popul. Ecol.*, **12**, 81 (1970).
- 46) Iyatomi, K.: *Proc. Tenth Int. Cong. Ent.*, **4**, 897 (1958).
- 47) Jacobson, M.: U. S. Patent 3, 050, 551, (Aug. 21, 1962) (1962).
- 48) Jacobson, M.: Insect sex attractants. John Wiley and Sons. Inc. New York, 154pp (1965).
- 49) Katyar, K. P.: Intern. At. Energy Tech. Rept. Ser. **44**, 20 (1965).
- 50) 川原幸夫ら: 四国植防研究, **4**, 33 (1969).
- 51) 川原幸夫・桐谷圭治: 第18回日本生態学会大会講演要旨, E-119 (1971).
- 52) 河原畑勇: 植物防疫 **25**, 135 (1971).
- 53) Kilgore, W. W.: Kilgore and Doult ed., Pest Control 197 (1967).
- 54) Kilgore, W. W. and R. L. Doult ed.: Pest control. Biological, physical and selected chemical methods. Academic Press, 477 pp (1967).
- 55) 桐谷圭治: 四国植防研究, **6**, 1 (1971).
- 56) 桐谷圭治・川原幸夫: 植物防疫, **24**, 474 (1970).
- 57) 桐谷圭治・中筋房夫: 農業技術, **26**, 105 (1971).
- 58) 桐谷圭治・笹波隆文: 農業及び園芸, **46**, 582 (1971).
- 59) Kiritani, K. *et al.*: *Res. Popul. Ecol.*, **5**, 11 (1963).
- 60) 桐谷圭治ら: 高知農林技研報告, **2**, 39 (1969).
- 61) Kiritani, K. *et al.*: *Res. Popul. Ecol.*, **12**, 137 (1970).
- 62) 桐谷圭治ら: げんせい, **22**, 19 (1971).
- 63) Klassen, W. and F. Matsumura: *Nature*, **209**, 1155 (1966).
- 64) Knipling, E. F.: U. S. Dept. Agr. ARS, **33** (1964).

- 65) Knipling, E. F. and J. V. McGuire, Jr.: U. S. Dept. Agr. Inform. Bull., 308, 2 (1966).
- 66) 小林尚: 病害虫発生予察特別報告 6, 126 pp (1961).
- 67) 河野達郎: 四国農試ニュース, 3, 1 (1970).
- 68) 桑原保正ら: 昭和46年度応動昆大会講演要旨 122 (1971).
- 69) LaChance, L. E. and E. F. Knipling: *Ann. ent. Soc. Am.*, 55, 515 (1962).
- 70) LaChance, L. E. et al.: Kilgore and Douth ed., *Pest Control* 147 (1967).
- 71) Laven, H.: *Anz. Schädlingssk.*, 41, 1 (1968).
- 72) Lemarie, J.: *Anz. Schädlingssk.* 9, 43 (1933).
- 73) Massee, A. M.: *Chemistry and Industry*, 23 (1952).
- 74) Matteson, J. W. and H. M. Taft: *J. econ. Ent.*, 56, 892 (1963).
- 75) Meifert, D. W. et al.: *Florida Entomologist*, 46, 161 (1963).
- 76) Monro, J.: *Intern. At. Energy Tech. Rept. Ser.* 44, 22 (1965).
- 77) Moore, N. W.: *Advances in Ecological Research*, 4, 75 (1967).
- 78) 中筋房夫・野村性孝: 四国植防研究, 3, 21 (1968).
- 79) 中筋房夫: 植物防疫, 24, 507 (1970).
- 80) Nakasuji, F. and K. Kiritani: *App. Ent. Zool.*, 5, 1 (1970).
- 81) 中筋房夫ら: 昭和46年度応動昆大会講演要旨 418 (1971).
- 82) Nelson, S. O.: *Pest Control. Kilgore and Douth ed.*, 89 (1967).
- 83) Nelson, S. O. and W. K. Whitney: *Trans. ASAE*, 7, 116 (1960).
- 84) 日本特殊農薬研究所: 農薬研究, 16, 66 (1969).
- 85) 西本孝男ら: 医学のあゆみ, 75, 655 (1970).
- 86) 野村健一: 農業及び園芸, 40, 1111 (1965).
- 87) 於保信彦・志村勲: 植物防疫, 24, 421 (1970).
- 88) Pickett, A. D.: *J. econ. Ent.*, 52, 1103 (1959).
- 89) Pickett, A. D. and N. A. Patterson: *Proc. Nova Scotia Fruit Grower's Assoc.*, 31 (1954).
- 90) Proverbs, M. D.: *Ann. Rev. Ent.*, 14, 81 (1969).
- 91) Ripper, W. E.: *Ann. Rev. Ent.*, 1, 403 (1956).
- 92) Roelofs, W. L. et al.: *J. econ. Ent.*, 63, 1162 (1970).
- 93) Sacca, G. et al.: *Atti Congr. Nazl. Parasit. ol.*, 4, Loric (Italy) 447 (1966).
- 94) 笹波隆文・川原幸夫: 植物防疫, 24, 355 (1970).
- 95) Sasaba, T. and K. Kiritani: *Appl. Ent. Zool.*, (in press).
- 96) 笹波隆文ら: 応動昆, 14, 144 (1970).
- 97) Shorey, H. H. and L. K. Gaston: *Ann. ent. Soc. Am.*, 58, 833 (1965).
- 98) Shorey, H. H. and L. K. Gaston: Kilgore and Douth ed., *Pest Control* 241 (1967).
- 99) Smith, R. F. and R. van den Bosch: Kilgore and Douth ed., *Pest Control*, 295 (1967).
- 100) Solomon, M. E.: *Chemistry and Industry*, 24, 1143 (1953).
- 101) Southwood, T. R. E.: *Inaug. Lect. Imp. Coll. Sci. Technol.*, 8, 1 (1969).
- 102) Southwood, T. R. E. and H. F. van Emden: *Z. ang. Ent.*, 60 188 (1967).
- 103) Spielman, A. and V. Skaff: *J. Insect. Physiol.* 13, 1087 (1967).
- 104) Stanley, J. N.: *J. econ. Ent.*, 62, 1138 (1969).
- 105) Steiner, L. F.: *Intern. At. Energy Tech. Rept. Ser.* 44, 28 (1965).
- 106) Steiner, L. F. et al.: *Int. J. appl. Radia. Isotopes*, 13, 427 (1962).
- 107) Steiner, L. F. et al.: *J. econ. Ent.*, 58, 519 (1965).
- 108) Steirs, G. R.: *J. Invertebrate Pathol.*, 7, 427 (1965).
- 109) 高木信一: 今月の農薬, 8号, 36 (1968).
- 110) Tanada, Y.: *Insect Pathology, An Advanced Treatise. Steinhilber, E. A. ed.*, 2, 423 (1963). Academic Press, New York.
- 111) Tanada, Y.: *Biological Control of Insect Pests and Weeds. DeBach ed.*, 548 (1964). Chapman and Hall, London.
- 112) Tanada, Y.: Kilgore and Douth ed., *Pest Control*. 31 (1967).
- 113) Truscheit, E. and K. Eiter: *Ann. Chem.*, 658, 65 (1962).
- 114) Uyeta, M. et al.: 食衛誌 11, 256 (1970).
- 115) van den Bosch, R. and V. M. Stern: *Ann. Rev. Ent.*, 7, 367 (1962).
- 116) Vanderplank, F. L.: *Trans. roy. ent. Soc. Lond.*, 98, 1 (1948).
- 117) van Emden, H. F. and C. H. Wearing: *Ann. Appl. Biol.*, 56, 315 (1965).
- 118) Wallace, M. M. H.: *Aust. J. Zool.*, 15, 1173

- (1967).
- 119) Watt, K. E. F.: *Can. Ent.*, 96, 202 (1964).
- 120) Watt, K. E. F.: *Ecology and Resource Management*. McGraw-Hill Pub., 450 pp (1968).
- 121) Weidhaas, D. E. *et al.*: *Mosquito News*, 22, 283 (1962).
- 122) Williams, C. M.: *Sci. Am.*, 217, 13 (1967).
- 123) Wright, D. P. Jr.: Kilgore and Douth ed., *Pest Control*, 287 (1967).
- 124) 山中久明ら: 昭和46年度応動昆虫大会講演要旨, 419 (1971).
- 125) 安松京三: 天敵・生物制御へのアプローチ NHKブックス, 204pp (1970).
- 126) Geier, P. W. *et al.*: *J. Aust. Ent. Soc.*, 6, 91 (1967).

抄 録

雌の assembling scent に対するカツオブシムシの挙動 Behaviour of the Khapra Beetle *Trogoderma granarium* towards the assembling scent released by the female. H. Z. Levinson, A. R. Bar Ilan, *Experientia* 26, 846 (1970).

最近 Bar Ilan (1965) は、カツオブシムシの1種 (*T. granarium*) の処女雌が、Khapra Beetle の雌雄いずれも誘引するにおいを発することを発見している。このにおいは、未交尾雄の方が処女雌よりも強く誘引される傾向を持つが、どちらをも誘引するので、著者等は assembling scent としている。*T. granarium* とその近縁の *T. inclusum* のにおいの組成は一部報告されているが、ここでは一定温度で雌から発せられるにおいの濃度勾配に対する Khapra Beetle の挙動を研究している。円形の紙の舞台 (半径3 cm) の中心からにおいが発せられるようにし、その端に雄を置いた。雄は最初勝手な方向に動くが、においを触角でかぎつけると嗅源に向かい、近づくに従いジグザグに歩き出す。濃度最高の点で興奮状態となり、雌と接触すると交尾する。ここで視覚は何ら働いていない。においに対する感受性は誘引物の濃度に比例し、一般

に雄の方が敏感である。雄はにおいが大気中にあれば、においを抽出したあとの死んだ雌とも交尾行動をとる。また雄は20回位交尾すると、においに対する感受性が衰える。処女雌はにおいの最高濃度の所で一時的に静止し、他の雌と接触したりすると静止時間は長くなる。交尾後は嗅覚は衰える。この誘引物質は活性炭フィルターで吸着され、処女雌の ether 抽出物は、 2.5×10^{-3} 匹量で雄の60%を誘引する。

T. granarium の雄は *T. inclusum* や *T. glabrum* の雌のにおいにも誘引されるが、同じ科の *Anthrenus vorax*, *Attagenus megatoma*, *Dermestes maculatus*, の雌には誘引されない。*T. grassmani*, *T. simplex*, *T. glabrum*, *T. sternale*, *T. parabile* の雄は雌の *T. inclusum* に誘引される。この結果から、*Trogoderma* の誘引作用は、属特異的であって、種間の区別は嗅覚以外の方法でおこなわれるようである。

このように、雌が発する assembling scent は、虫を生殖の場を集め、雄は性刺激を、雌は静止作用をうけることにより、種族保存の役割を果たすと考えられる。
(中島修平)

昭和46年5月25日 印刷 昭和46年5月31日発行

防虫科学 第36巻-II 定価 ¥ 500.

個人会員 年1000円 団体会員 年2000円 外国会員 年U.S.\$6

主 幹 武居三吉 編集者 石井象二郎

京都市左京区北白川 京都大学農学部

発行所 財団法人 防虫科学研究所

京都市左京区吉田本町 京都大学内
(振替口座・京都5899)

印刷所 昭和印刷

京都市下京区猪熊通七条下ル