
研究紹介**総合的害虫管理学の確立に向けて**

中 筋 房 夫
(環境生態学コース)

**Establishment of Science for
Integrated Pest Management**

Fusao Nakasuji
(*Course of Environmental Ecology*)

Since the 1940's, we have had a powerful tool to combat crop pests, i.e. synthetic pesticides. The application of pesticides has undoubtedly contributed to a remarkable increase and stability in crop production. The heavy use of unsuitable pesticides, however, has brought about various undesirable effects on the agroecosystem and environment. Frequent applications of these pesticides have led to the development of resistance in key pests, and induced a resurgence of primary pests or an upsurge in secondary pests. In order to cope with the issue brought about by almost singular dependence on insecticidal control, the Food and Agriculture Organization's (FAO) panel of experts proposed a new concept for future pest control, in 1965 as follows: "a pest management system that in the context of the associated environment and the population dynamics of the pest species, utilizes all suitable techniques and methods in a manner as compatible as possible and maintains pest population at levels below those causing economic injury". The proposal has been called Integrated Pest Management (IPM) since the late 1970s. The proposal includes three key concepts, namely (1) integration of plural control measures, (2) economic injury level (EIL), and (3) population management system. Basically, IPM integrates fundamental tactics, mainly natural control agents and subsidiary tactics, e.g. agricultural chemicals and physical methods. It is primarily significant in IPM that when both set of tactics are integrated, the latter tactics should not suppress the action of the former. Therefore any agricultural chemicals including pesticides must be highly selective against targeted pests, taking into account the crops, natural enemies and the environment. The concept of EIL suggests that the pest population is not necessarily suppressed completely in IPM and control should be implemented with due consideration to a balance of cost and benefit. The population management system is used for monitoring pest population dynam-

ics to forecast whether or not the pest density will overshoot an EIL. It is also used for assessing the efficacy of control tactics.

Key words : integrated pest management, synthetic insecticide, integration of plural control measures, economic injury level, population management system

はじめに

最近農業現場で IPM という英略語の知名度が高まっている。総合的害虫管理、または総合的病害虫・雑草管理 (integrated pest management, 以下 IPM と言う) のことであり、私がライフワークとしてきた分野である。岡山大学農学部または他大学での集中講義で、私の「総合的害虫管理学」の授業を受けて卒業し、国や県の農業職に就いた学生諸君と顔を合わせた時、在学中は良く理解出来なかったが、農業現場に来て IPM の重要性を認識出来たと言われることがしばしばある。農業現場では、IPM は持続的農業、環境保全型農業における植物保護技術の切り札のように言われているが、果たしてそうであろうか。ここでは、IPM がどのような考え方に基づいているのかについて解説する (中筋房夫 (1997) 「総合的害虫管理学」養賢堂に詳しい)。

時代背景

第二次大戦後に農業害虫防除に用いられるようになった有機合成殺虫剤は、安価で効果が極めて高く、幅広い害虫を長い期間防除できた。それ故急速に普及し、作物の収量増加と生産の安定に大きく寄与した。1950年代は農薬のファンタジー時代とも言われ、数多くの合成農薬が開発された。ところが合成農薬はその卓効故に多用され、1960年代になって、いろいろな弊害が表面化した。安価で繰り返し散布することにより、害虫に抵抗性 (resistance) を発達させた。何にでも効く (broad spectrum) ことは、天敵など非標的動物を殺し、潜在害虫の害虫化や二次害虫の誘導多発生 (resurgence) を引き起こした。長く効く性質、残効性は食品や環境への農薬残留 (residue) の原因となった。とりわけ北、中米地域では、ワタ栽培において抵抗性や誘導多発生が高頻度で生じ、遂にはいくら殺虫剤を散布しても防除そのものが困難になり、年々収量が低下する事態となった。ワタはとりわけ害虫種が多い作物で、1950年代の米国では、全殺虫剤の半分がワタに使われていた。これらの合成農薬による野生生物の破壊 (razing of wild life) は、1962年に R. カーソンの「沈黙の春」で警告され、社会問題となった。1960年代は農薬のクライシス時代とも言われた。カーソンの告発は当時のケネディー大統領を

動かし、農薬の毒性評価や安全基準を策定する契機となった。

私が大学卒業後、高知県農林技術研究所の研究員に就いたのは1966年であった。世界的には、農薬万能時代のほころびが見え始めた時期であったが、日本ではまさに農薬全盛時代の真っ只中であった。県の行政や技術担当者達は、病虫害の多発生を予測する発生予察警報を如何に多く発令したか、共同一斉防除で如何に徹底して防除したかを、他県と競い合っていた。水田には、捕虫網で一掬いするとツマグロヨコバイが一升捕れるほど害虫が多かった。このツマグロヨコバイの多発生は、ニカメイガ防除に使う BHC が有効な天敵のコモリグモなどを殺すことによる誘導多発生であることが、後に私たちの研究で判明した。

IPM の提言

1960年代前半に生じた作物栽培現場での事態を重くみた国連食料農業機関 (FAO) は、1965年にローマで世界の名だたる応用昆虫学者達による専門家パネルを開催した。彼らは長時間の議論の末に、将来あるべき害虫防除について次のような提言

「あらゆる適切な防除手段を相互に矛盾しないかたちで使用し、経済的被害許容水準以下に有害生物個体群を減少させ、かつその低いレベルに維持するための個体群管理システム」

を行った。この提言がその後 IPM の考え方の基本になった。なお、この当時には IPM という用語は無く、総合防除 (integrated control) という用語が使われていた。IPM が用語として使われ始めたのは1970年代後半になってからである。

上記提言には、1. 複数の防除法の合理的統合、2. 経済的被害許容水準 (economic injury level, EIL)、3. 害虫個体群のシステム管理、の3つの重要な概念が含まれている。なおこの提言は、もっぱら害虫防除技術のあるべき姿を述べているのであって、減農薬による環境負荷の軽減や生態系の攪乱を回避するなどの観点が IPM の目的に加えられたのは、1980年代後半に入ってからのことである。

複数の防除法の合理的統合

IPM は、自然、有機農法のような無農薬を目指すものではないことを、まず最初に明確にしておかなければならない。合成農薬以前の伝統農法の知恵に学ぼうという主張の中に、IPM を取り込もうとする動きは常にある。一方初期には、IPM は、複数の病虫害を混合剤で同時防除することであると言うような主張も良くなされた。いわば、農薬の薦めに IPM が利用されかけたりもした。しかしながら、IPM は以下に述べるように、無農薬主義とも、従来の慣行防除とも異なる。

害虫防除手段の中には、その作用機構の特性から害虫密度を低いレベルに、且つ小さな変動幅に制御することが期待できる天敵や抵抗性品種など生物的防除手段と、一時的に害虫密度を下げる防除法、例えば殺虫剤や光など化学的、物理的手段などに大きく分けられる。慣行防除はもっぱら後者のみに依存した防除であった。IPM では、前者の働きを基礎に置き、害虫個体群に対する自然制御作用を最大限に活かす努力をする。しかしながら、生物的手段は、通常その働きが不安定で、気象条件の変化などにより、しばしば害虫個体群の制御力が弱まり害虫密度が高まる。その時には、後者の防除法を導入して、害虫密度を前者の制御可能なレベルに抑える。このようにして、複数の防除法の合理的統合を行なうのである。上に述べたように、二者の役割の違いから、前者を基幹的防除手段 (fundamental tactics)、後者を副次的防除手段 (subsidiary tactics) と言う。ところで複数の防除法の合理的統合にとって、とりわけ重要なことは、後者は前者の働きを阻害してはならないということである。IPM で、性フェロモン剤による交信攪乱 (mating disruption)、微生物殺虫剤、昆虫成長制御剤 (insect growth regulator, IGR) などの利用が重視されるのは以上の理由からである。天敵に悪影響が少ない選択性殺虫剤も重要な資材である。

経済的被害許容水準

経済的被害許容水準 (EIL) は、防除に必要なコスト (cost) と、それによって得られる利益 (benefit) の関係を見定めて、最適な防除を行うことを求めている。最適な防除とは、単に利益がコストを上回るだけでなく、利益とコストの差、すなわち収益が最大になるような防除を意味する。ただし、EIL を理論的に理解することも、ある作物と害虫の関係において EIL を具体的に設定することも容易ではない。それは、害虫密度と作物被害の関係が単純なもので無いように、利益やコストなどに、社会経済的要素が絡まってくるからである。

わが国やアジアにおける農業は、多くが小規模である。そこでは農薬散布は自前で行なうし、1回の農薬代の額はそれほど多くない。このような場合、防除におけるコスト意識は生まれにくく、病虫害が発生すれば、その被害の多寡にかかわらず農薬散布をしてしまいがちである。一方、南北アメリカ大陸などの1,000ha規模に及ぶ大農場では、1回の防除にかかるコストは高額にのぼるために、防除を行なうか否かは慎重に決断されるであろう。

わが国には防除暦という便利な病虫害防除マニュアルが普及している。暦日の耕種作業に合わせて、病虫害別の防除必要性が農薬名とともに指示されている。ここでは、病虫害の発生が年次、地域間で変動することは無視されており、それぞれの防除がどれほどのコストを上回

る利益を上げるかは当然分らない。EIL を無視したこの防除暦防除こそが、面積当りの農薬投下量を世界最大に増やし環境負荷を高める原因となった。

EIL を厳密に設定することは難しくても、たとえば、10パーセント減収をもたらす害虫密度などのように、暫定的に設定することは出来る。ところで、EIL は既に作物被害が生じてしまった時点の害虫密度であることから、EIL を防除の閾値に用いることは出来ない。害虫密度の時間的変動を何らかの方法（後に述べる害虫個体群のシステム管理）で予測出来るなら、EIL に対応する、被害が生じる以前の或る時点での害虫密度で防除の要否を判断することが可能であろう。この害虫密度の閾値を要防除密度（control threshold, action threshold）と言う。これまでにいくらかの作物と害虫の間で要防除密度が設定されており、栽培現場で防除の意志決定に用いられている。このようにして不必要な農薬散布を省略しても収量が減らないと栽培者が実感することで、減農薬に結びつくであろう。

要防除密度は、栽培農家が自身の圃場の日常的な観察で認識出来なければ意味が無い。従って害虫発生調査は、誰にでも出来る簡便な方法であることが望ましい。私は野菜害虫ハスモンヨトウの要防除密度を、フェロモントラップでの雄成虫の誘殺個体数で設定出来ることを、誘殺個体数とサトイモ畑での卵密度の関係、および幼虫個体群動態システムズモデルと被害解析データを用いて示した。

害虫個体群のシステム管理

害虫個体群のシステム管理は、先に述べたように、害虫個体群の変動やそれによる作物被害の発生を定量的に予測し、防除要否の判断基準を設定すること、および個々の防除法の有効性を事前評価（assessment）し、栽培者が適切な意思決定（decision making）をするための情報を提供するなどを意味している。IPM では科学的な予測に基づく防除が重視される。害虫の発生予測には、広域にわたる発生予察（forecasting）と、個々の作物圃場での発生監視（monitoring）があり、前者は主として公的機関が、後者は定められた簡易な調査マニュアルに基づいて栽培者自身が行う。発生監視で得られた情報を IPM システムに入力すると、防除すべきか否か、またどのような防除法をとるべきかの意志決定の仕方が幾通りかのメニューで勧告される。

わが国には、世界的にも最も充実した公的発生予察システムが整備されている。1950年に制定された植物防疫法に基づいて、都道府県の農業試験場や病害虫防除所に配属されている発生予察員により発生予察事業が実施されている。彼らは県内の観測定点を巡回調査するなどして発生情報を収集する。病害虫の多発生が予測される場合には、知事名で発生予察注意報や警報を発令し、防除

を勧告する。ただし彼らには、防除を必要としない小発生を予測し、防除の省略を勧告する役割は与えられていない。多発生時以外は防除暦に従うことが前提となっているからである。米国などでは、大農場主が単独または共同して、病害虫の専門家を雇ったり専門の企業と契約したりして、発生予察や防除の勧告を行なわせることが多い。彼らは、多発生の兆候の発見もさることながら、農場主に無駄な防除コストを賭けさせないための発生監視に重点を置く。多発生見逃しの失敗さえしなければ、身分が安泰な公務員予察員に比べ、雇い主に無駄なコストを負わせることが失職に繋がる民間予察員の職責は厳しい。

病害虫発生の的確な予測は、複雑な農生態系内での病害虫の生存と繁殖、作物生産と被害の時間・空間的変動の在り様を記載するシステムズモデルを構築して、そのモデルの分析によって得られる。発生予察員の経験と勘に頼るのではなく、科学的に発生予察を行なうことが、IPM における個体群のシステム管理の役割の1つである。さらにこのモデルのシステムズアナリシスは、目的に沿った最も効果的な防除法は何かを、他の防除法との比較において事前評価するのにも用いられる。

私たちは、1970年代初めに高知県で、イネ萎縮病ウイルスの流行と、それを媒介するツマグロヨコバイ個体群動態を記載するシステムズモデルを作った。当時はまだシステム科学が農学分野に普及していなかったため、名古屋大学理学部地球科学の専門家と共同でこの研究を行なった。一連の研究の中で、イネ萎縮病流行モデルが私の学位論文研究となった。このモデルはシーズンはじめのツマグロヨコバイ密度とそのウイルス保毒虫率、捕食性天敵として重要なクモの密度を入力するだけで、年間4世代のヨコバイ発生量や初期感染、後期感染イネ萎縮病発病株率が予測できる。さらに、イネ萎縮病の流行を終息させるための防除法の事前評価から、殺虫剤散布による媒介昆虫の防除はあまり効果的ではないと予測された。より効果的な方法は、ウイルスに対する抵抗性イネ品種の育種か、媒介虫にたいする吸汁阻害剤の利用である。イネ萎縮病ウイルスに対する抵抗性遺伝子のジャポニカイネへの導入は難しく、現在まで育種に成功していない。一方、ネライストキシン系やネオニコチノイド系の殺虫剤を致死薬量以下でイネ体に浸透移行させた時に、強力な吸汁阻害活性があることが私たちの最近の研究で分かっている。これらの薬剤はいろいろな水田初期害虫の防除のために苗箱処理されている。近年イネ萎縮病があまり問題にならないのはそのためかも知れない。

IPM の実例

我が国で最も成功した IPM の例として、岡山県農業試験場の永井一哉（本学農学部植物病理学研究室出身）が1990年代に行なった露地ナスにおける侵入害虫ミナミ

キイロアザミウマがある。1970年代後半頃に日本に侵入したこのアザミウマは、1980年代前半には西日本全域に分布を拡げ、ナスなど多くの野菜、花の最大害虫にのし上がった。侵入当初には有効な殺虫剤が無かったために、多種類の殺虫剤を繰り返し散布していたが、被害を防ぎきれず栽培を放棄する事例が頻発した。永井は、土着の捕食性天敵、ナミヒメハナカメムシが効果的にアザミウマの発生を抑えることを見出した（基幹的防除手段）。さらに、天敵の働きが不十分な時に用いる副次的防除手段として昆虫成長制御剤、ピリプロキシフェンをスクリーニングした。この剤は、アザミウマの蛹のステージのみに極めてマイルドな致死効果を持つ。一方ヒメハナカメムシの幼虫や成虫には全く影響しない。この化合物は住友化学工業の研究員によって農業害虫防除用に開発された物であったが、効果が余りにもマイルドなものであったために、農業登録申請がなされず、当時は衛生害虫カの幼虫防除にしか使われていなかった。永井はナミヒメハナカメムシとピリプロキシフェンを組み合わせた IPM プログラムの実証試験を行った。アザミウマ以外の害虫防除にも可能な限りハナカメムシに影響の少ない殺虫剤を用いた。露地ナスは収穫を継続的に行うので、果実の被害率が10%を越えたら防除を行うこととした（被害許容限界）。慣行防除には、当時の岡山県が防除指針に上げていた殺虫剤を用いた。その結果、慣行防除では混合剤を含む延べ20回の防除が必要であった。一方 IPM では天敵が保護されているために3回の防除で済んだにもかかわらず、アザミウマの密度、被害果率とも慣行防除より低く、ヘクタール換算の収益は、IPM で慣行防除より約100万円上回った。現在この IPM プログラムは各県の研究者達によって改良が加えられなが

ら、現場技術として普及しつつある。多くの成功事例で、アザミウマに対する防除は不要、ないし多くて1-2回である。

おわりに

IPM は上に述べた技術体系が基本ではあるが、もちろん現実にはこの体系全てが厳密に実施されるわけでは無い。不思議なことに、上に述べた IPM 技術体系は、環境負荷を軽減し環境保全に寄与するような直接的な内容を含んでいない。それにも関わらず、実施された多くの IPM 成功例では、非選択的殺虫剤の散布量や、投入された人工化合物の総量は明らかに減少している。その理由は、天敵利用や害虫の発生を抑制するような栽培環境改変などの基幹的防除手段の働きが、多くの害虫で予想以上に大きいこと、殺生物作用重視の伝統的殺虫剤から、生殖制御、成長制御、行動制御など制御剤への転換が、基幹的防除手段の働きを強化し安定化させているためである。制御剤の効果は単独では殺虫剤に劣るものが多い。しかしこれらが生物的防除資材と複合して働くことによって、殺虫剤と同等の効果が期待できる。さらに、殺虫剤が害虫個体群に対し繰り返し高い淘汰圧をかける慣行防除に比べて、IPM ではそれぞれの防除手段の作用機構が相互に異なるために、害虫に抵抗性が発達し難いと予想される。ナシやリンゴなどの落葉果樹の慣行防除では、ハマキガ類、シンクイガ類の防除のために有機リン剤や合成ピレスロイド剤がくり返えし散布され、これらが天敵を除去するために、恒常的にハダニが多発生している。IPM で性フェロモンの複合交信攪乱剤に切り替えることによって、復活した天敵がハダニの発生を抑制し殺ダニ剤の散布が減少した例も多い。