

特集：IPM の発展に向けて

## IPM 理念の抜本的見直し

農林水産省九州農業試験場 <sup>すず</sup>鈴 <sup>き</sup>木 <sup>よし</sup>芳 <sup>と</sup>人\*

## はじめに

1960年代に確立された農作物の有害生物の総合管理 (IPM) のコンセプトは、個体群生態学の成果を結集した科学的な作物保護理念として、以後の研究・技術開発に指導的役割を果たしてきた。IPM の本来の理念は農生態系の十全な理解に基づく包括的有害生物管理であるが、この理念が生まれた契機は有機合成殺虫剤の不用意な多用がもたらした難防除害虫の出現であったために、当初は害虫対策を中心に展開された。IPM の理念は桐谷らによって、いち早く洗練された形で日本に導入された (桐谷ら, 1971)。IPM を念頭に置いた害虫管理の取り組みは日本でも既に約30年の歴史をもち、害虫管理の基礎研究から実用研究、制御手段の開発から利用法の開発にいたるまで、この理念が果たしてきた貢献の大きさははかりしれない。一方、この間に病虫害管理を取り巻く環境が大きく変わり、IPM に対する認識も著しく混乱した。当初の IPM 理念は今なおお色あせることのない理想と映る。しかし、1970年代から IPM の普及が遅々として進んでいないという問題意識が繰り返し提起され始め、その原因と普及率を高めるための方策をめぐる論議が盛んになった (小山, 1985; 久野, 1988; WEARING, 1988)。この趨勢は年々加速こそすれ衰える気配はない。それと平行して、IPM と銘うった害虫管理の大部分が、当初の IPM の理念とはかけ離れている実態も広く認識されるようになった。理念の混乱は、技術開発の指針に混乱を招くばかりでなく、明確なビジョンの喪失までもたらしかねない。

この試論は、作物保護の原点に返って、IPM の理念と技術開発を抜本的に見直す試みであり、第43回応動昆虫大会小集会で用いた資料である。まだ未整理な段階であるが、将来の展望を議論するための一検討資料にしていなければ幸いである。原稿に対して意見を寄せられた多くの方々に感謝する。

## I IPM の歴史的展開

IPM 理念の成立とその後の展開については日本でもいくつかまとまった解説がある (深谷・桐谷, 1973; 桐谷・中筋, 1971; 桐谷ら, 1971; 久野, 1984; 中筋, 1997) ので、ここでは補足的な説明だけにとどめる。

IPM 理念のベースとなる議論は、有機合成殺虫剤が多用され始めるとまもなく多方面から巻き起こった (BARTLETT and ORTEGA, 1952; SOLOMON, 1953; WIGGLESWORTH, 1945)。1960年代に定式化された理念形成には、カリフォルニアの研究者による「殺虫剤と天敵利用の有機的統合」および「被害発生水準 (biological injury level) に代わる経済的被害許容水準 (economic-injury level)」と、オーストラリアの研究者による「農生態系内の生活系の理解に基づく害虫個体群の低密度管理」のアイデアが深くかかわっている (GEIER, 1966; STERN et al., 1959)。頻繁に引用される FAO の定義 (FAO, 1966) には環境への負荷軽減は含まれていないが、IPM の提唱者達は当初から、IPM が農業生産の収益性に加えて環境かく乱の最少化を目指すことを明言している (SMITH and van den BOSCH, 1967)。「生態系の十全かつ包括的理解に基づく害虫個体群の低密度管理」を基本理念とする IPM は、今日ではしばしば戦略的 IPM (strategic IPM) と呼ばれる。

IPM 理念に基づく害虫管理を強力に推進したのは天敵利用のメッカであったカリフォルニア学派である。このため、主要な1種の害虫個体群の管理がクローズアップされる天敵と農薬の併用重視の考え方が、IPM の建て前とは裏腹に、IPM 研究では当初から色濃かった。IPM が提唱された時期は、食品の安全性および環境問題に対する市民の関心が高まり始めた時期に重なる。IPM プロジェクトの提唱者は、IPM の環境に対する負荷軽減効果を前面に打ち出すことによって、研究予算を獲得し主導権を握った、とする見方がある。それが必ずしも当を得ているとは思わない。しかし、IPM の目標の二元性、すなわち、経済的最適性という農家の意思決定基準と、環境への負荷軽減という社会的基準という、必ずしも相容れない独立した二つの判断基準が並列的に置かれたまま放置されてきたことは大きな問題である。

\*現、農林水産省農業研究センター

Critical Review of IPM Concept. By Yoshito SUZUKI

(キーワード: IPM, 経済的被害許容水準, 害虫個体群管理モデル, 理念の二元性)

IPM 理念の混乱の一因がここにあると考える。

IPM が国際機関や各国の政策レベルで取り上げられるようになった背景は多様であるが、環境問題に対する先進国の関心の高まりが原動力の一つであることは確かである。今日では世界的に見れば、IPM が農業関係者の枠を超えてポピュラーな概念になったといわれる。ただし、日本はその例外である。概念の通俗化に伴い、IPM は結果として環境への負荷軽減に貢献する技術ではなく、しばしば環境への負荷軽減のための技術、さらにはより短絡的に化学的防除手段の使用量を削減するための技術に置き換えられている。すなわち、IPM を殺虫剤管理と同一視する見方が広がっている。

これにはそれなりの根拠がある。害虫の発生を監視（モニタリング/スカウティング）し、害虫密度が要防除水準（Control threshold; CT）に達したらできるだけ天敵に対する影響の少ない薬剤を散布する方法を、戦略的 IPM と区別するために戦術的 IPM (tactic IPM) と呼ぶ。現実には先進国で実施されている IPM のほとんどが、この戦術的 IPM なのであり、IPM の達成度を防除関連コストと農業使用量の削減率で示すことが多い。戦略的 IPM の理念をかかげて技術開発プロジェクトが推進された地域においても、実際に普及している技術が戦術的 IPM であることに大きな違いはない。例えばフロリダでは、モニタリングに基づく害虫管理の実施率をもって IPM 実施率とみなしているほどである。

環境問題に対する関心の高まりは、戦略的 IPM の理念を農業生産体系管理 (crop and farm management)、広域生態系管理、あるいは低投入持続的農業という、より包括的理念に包含させる潮流を生んだ。しかし、これらの理念の背景にある哲学は多様であり (立川, 1995 参照)、病虫害管理の技術開発とは必ずしも直結しないので、ここでは取り上げない。また、IPM の推進による反収増加が将来の世界的食糧不足のために必要であるという議論や、農業生産の現場に生物多様性論議を安易に持ち込む姿勢とは一線を画して議論を進めたい。

## II IPM の基本理念の検討

IPM (strategic IPM) には三つの基本概念が含まれているとされる (中筋, 1997)。「経済的被害許容水準」「すべての適切な防除手段/方法の合理的統合」「害虫個体群管理システム」である。重点の置き方には違いがあっても、害虫個体群密度をある閾値以下に管理する、そのために様々な手段を統合する、という基本コンセプトは関係者の間で共通認識となっている。ここではもう一つの重要なコンセプトである環境への負荷軽減をひとま

ずにおいて、この三つの概念を実用技術開発の観点から検討してみたい。

### 1 経済的被害許容水準 (EIL) と要防除水準 (CT)

EIL は IPM の説明には大変便利な概念であるが、厳密に定義することは困難を極め、実際に様々な定義や解釈がされている (久野, 1988; 中筋, 1997)。収益などの農家の目的関数を最大化する最適害虫管理法、という前提に立つと、害虫密度と収量の関係 (被害動態サブモデル) は必要となっても、EIL を定めてから防除対策を決めるわけではないので、管理方法の策定過程では EIL という量を必要としない。さらに詳しい説明は省略するが、理論的に厳密を期すほど EIL は実体のない概念となる。そこで、ここでは実際の害虫管理に使われる CT を主に取り上げる。

IPM あるいは殺虫剤使用削減を推進するために何が必要か、という問いに対して、まず CT を策定することであるという回答が今日でも最も多く寄せられる。農産物の価格変動を考慮しなければ、これらの水準を決定することは必ずしも困難ではないように思われる。それにもかかわらず、同じ回答が過去 30 年近くの間、変わることなくずっと繰り返されている。いったいこれは何を意味するのだろうか。EIL/CT を決めることが必要かつ有益とは、誰も本気で思っていない証拠ではないだろうか。

経験的に定めた防除の目安にかわる精密な CT 策定が無意味となる例を以下に示す。

(1) 即効性で効果の高い農薬を使う場合には害虫密度が EIL に達したときに散布するケースもありうるが、多くの場合は要防除の判定から防除実施までの時間的ゆとり、防除の省力性と効率などを考慮して、害虫の加害が問題となる作物の生育段階よりも早い時期に合わせて CT が決められる。防除要否判定時期が早いほど、その後の害虫発生量の予測の不確実性は増す。CT は厳しい基準にならざるを得ない。(2) CT の決定に天敵の密度が考慮されれば予測の精度を上げることが原理的には可能であっても、一作物の主要害虫だけでも通常複数種が存在することを考えれば、それを取り入れることはモニタリングのコストから見て非現実的である。天敵のように遅効的/持続的な防除手段を使う場合には、CT を決めることが実質的に意味がないケースもありうる。(3) 害虫がもたらす作物被害は、害虫の密度ばかりでなく、土壌・肥料・水などの作物栽培条件、気象条件、作物の生育段階など、多くの要因に依存する。さらに農家によって被害の許容度には大きな差がある。したがって、CT は動的にならざるを得ないが、単純でない CT は普

及し難い。農業現場の多様性に対応できる CT を公的機関が策定することは実質不可能である。

IPM の普及を妨げている要因として真っ先に指摘されるのが害虫発生のモニタリングコストである。精度の高い密度推定は研究を目的とする場合ですら一般に容易でない。省力的な害虫密度推定が可能であったとしても、それが可能なのは特定の発育段階の個体に限られるので、モニタリングは経時的に行う必要がある。このコストを単独の農家が負担できる見込みはほとんどない。密度推定を省力化するための技術開発はこれまで精力的に行われてきたが、農家が使える技術として普及した例は極めて限られている。

CT を公的機関が決める必要が本当にあるのか、CT の策定が有効たり得る条件とは何か、について原点に戻って検討すべき時期であろう。また、モニタリング+CT という農業用法へのとらわれが、抜本的な解決策や省力的な害虫管理のアイデアを生む妨げになっていたのではなかろうか。さらに CT に基づかない農薬散布は使用量を増加させると信じられているが、この認識は必ずしも正しくないことも指摘しておきたい。発生頻度が高い害虫に対しては、作物生育初期の選択性殺虫剤・IGR 剤の少量散布や天敵放飼によって、収穫までの農薬総使用量を削減できる可能性は決して低くないのである (河合, 1996)。

IPM 運動の画期的成功例として取り上げられるインドネシアでは、あらかじめ設定された CT は使われておらず、むしろ CT を決めることが殺虫剤の多用を招くと認識されている。これは一面的な見方をすればおよそ非科学的なやり方と写るし、現地の農業の実態を踏まえなければ誤解を生みやすい。インドネシアをはじめとするアジアの開発途上国において進められている、水稻害虫を対象する IPM 運動の説明は省略するが、農家による農家のための病害虫管理を指向するなかで、CT 不要論が生まれた点だけを指摘しておく。

## 2 害虫個体群管理モデル

農生態系の十全な理解に基づく科学的な有害生物の包括的管理、という理念の実現に不可欠と考えられてきたのがシステムモデルの開発である。1972 年からアメリカで連続して実施された二つの大型プロジェクトをはじめとして、主要作物を対象にシステムモデル、さらには農家の意思決定をサポートするエキスパートシステムの開発が次々に進められた。以下に、このアプローチの是非を検討する。

改めて指摘するまでもなく、理想とするモデル構築は通常大変な労力と時間がかかるばかりでなく、必ずしも

高精度の予測が可能なモデル開発が可能とは限らない。しかも、モデル開発中には考慮されていなかった新規病害虫の発生や異常気象条件との遭遇などの理由で、モデルは恒常的な改善が必要となる。さらにシステムモデルは高い予測精度を目指すほど、モデルづくりの場の特殊条件の影響を強く受け、普遍性を失う傾向がある。過去のデータによく適合するモデルはできて (というよりデータに合うようにパラメータの値が経験的に決定される例が多い)、モデルが構築された時点では既に品種や栽培方法が変わっており、そのままでは将来の予測にあまり役立たないケースが多い。

システムモデルが開発されれば、発生予察の高度化や防除手段の効果に関する事前評価をはじめ、多岐にわたる活用が可能となり、害虫管理戦略の独創的なアイデアの開拓にも役立ってきた。モデル開発を通して得られた成果が、害虫管理に多大な貢献をしたことは広く認識されている。しかし、害虫の発生予察に関していえば、高精度の予察が原理的に可能になってもそれを利用するために必要な入力データ量が多くなれば実用性は薄れる。さらに害虫管理戦略についても、既存の栽培体系を前提に構築されるシステムモデルでは、輪作や不耕起栽培の導入、栽培時期の変更などの耕種的方法の活用が盲点になりやすいという欠点をもつ。

過去の経験から、システムモデルの開発が効果的であるための条件は、対象とする系が比較的単純でありかく乱要因の影響が少ないことである。すなわち、単一作物の大規模露地栽培あるいは栽培管理が行き届く施設栽培下で、系外からの害虫の移入が無視できるか予測可能、病害虫の種数が少ない、害虫の発生量の変動がごく少数の要因で説明できる、などの条件が満たされることである。理想とするモデル開発のコストもこのアプローチの制約条件になる。

シミュレーションモデル・解析モデルは、害虫の発生機構に関する未知の要因、防除手段の独創的な活用などを発見する手段として今後も一層重要な役割を担うと考える。しかし、この目的のために重厚なデータに基づく複雑なシステムモデルを目指すことは決して適切とはいえない (KNIPLING, 1979)。理想とみなされてきた、農生態系の十全かつ包括的理解に基づくシステムモデル開発は、とりわけデータによく適合する高い予測精度の達成を目的視するときには、エンドレスでかつ袋小路に陥る危険性が高いこと、この方針が効果的である条件は限られていることを踏まえる必要がある。既存の栽培体系を前提にして農生態系モデルが開発されても、実際の害虫管理はモニタリングに基づく選択的殺虫剤使用、す

なわち殺虫剤管理に落ち着き、かつ要防除の判定は私的/公的に雇われたアドバイザーの経験に依存する例が多いといわれる。

### 3 複数手段の有機的統合

IPM 理念の提唱とそれが歓迎された背景には、北アメリカにおける殺虫剤一辺倒のワタ・果樹害虫対策の行き詰まりがあることはよく知られている。当時の状況を考えれば、すべての利用可能な制御手段を有機的に統合して害虫を管理する、というコンセプトはよく理解できる。IPM の原点は難防除害虫の管理戦略である。しかし、IPM の広範な普及を目指す今日でもなお、「複数手段の有機的統合」というコンセプトの重要性が強調されることには違和感がある。一作物の病害虫群を管理するためにはターゲットの異なる複数の防除手段をいかに組み合わせるか、が避けられない課題であるが、複数の手段の統合という理念は通常1種の害虫に対する管理戦略として主張されるからである。

例えば最も普及している戦術的 IPM においては、選択性殺虫剤あるいは IGR 剤が対象害虫に対する唯一の制御手段として使われているケースが多い。これは土着天敵の働きを活用しているから複数の手段を用いていると説明される。しかし、非選択的殺虫剤をスケジュール散布する場合でも、害虫に対する作物の様々な抵抗性機構や天敵などの自然制御要因は、それを意識的に活用していないとしても、程度の差はあれ働いているのである。複数手段というコンセプトが強調されるときには、「天敵と化学薬剤」が害虫管理に不可欠とする思惑がうかがえる。

病害虫管理は単純、省力的、低コストであるほど実用性が高い。そのためにこそ作物、病害虫、天敵、栽培条件に関する従来の知識を最大限活用し、かつ新たに蓄積していく必要があるだろう。しかし、目指すべき実用的技術はあくまでも単純で信頼でき、農家が受け入れる管理法である。単一の簡便な手段、あるいは耕種的方法で持続的な病害虫管理が可能ならば、それに勝るものはない。複数手段の併用が強調される理由は、天敵あるいは殺虫剤という「単一」手段の有効性を過信した負の側面が過去にあったからであるが、むしろ持続的管理が可能な単一的手段/方法の開発を鼓舞する必要があると思う。殺虫剤抵抗性はすべての害虫で発達したわけではないし、ウィルス病に対しては抵抗性品種の栽培で問題が永続的に解決した例が多く存在する。持続的効果が期待できる抵抗性形質の特性・組み合わせ・利用法の開発研究は遺伝子工学が急発展した今日ではとりわけ重要である。

## III IPM 理念の二元性

はじめに、IPM の理念に経済性という農家向けの顔と、環境保護という社会向けの顔が混在していることが IPM の解釈に混乱を招いていることを指摘した。理念の二元性という弱点を解消しない限り、技術開発の指針も混乱しやすい。しかし、この二元性は簡単に解消できる。病害虫管理は農家が使う農家のための技術である。とすれば、もともと害虫管理の理念には二元性が入り込む余地はないからである。

農業に起因する環境に対する負荷が問題であるならば、根拠のある負荷の許容度を政府や自治体が策定し、それを達成するための規制を施すのが望ましい。農家はその規制の枠内で、農家の利益のために自由に病害虫対策を選択すればいい。環境に対する負荷は、それが農家の直接の不利益にならない限り、農家の基本的関心事ではない。

現実には農家はできることならば農薬を減らしたいと考えている、というアンケート調査結果が多い。それも農家にとっての狭義の利益のためだけでは決してなく、誇りのもてる職業としての農業を維持したいという思いが込められている。しかしながら、農家には損をしまで環境や国土を守る義務はない。農家が減農薬害虫管理を採用する必要条件は、収益の増加または安定性、省力達成による余暇の確保など、農家の利益が保証されることである。

農家が採用するための条件と「社会的」要請を両立させる技術として公的機関の研究者に求められているのは、既存の収益性・省力性を少なくとも維持できる、一層の減農薬栽培である。今日流布している IPM を平易に言えばこうなるかもしれない。個々の化学農薬の特性を無視して十把ひとからげに農薬として扱う問題点、削減目的の根拠と目標が不明確であるという問題点はひとまずおこう。IPM をこう定義するならば、技術開発の難易度が対象作物によって大きく異なることを明確にし、化学農薬削減が困難な作物については減農薬技術を農家が受け入れやすくするための具体的施策を講ずるよう関係者に向けて提言することが、研究者の重要な責務の一つとなろう。そして農家にとってはこの IPM が関心事ではないケースが多いという、技術普及の困難さも踏まえたいと思う。

## おわりに

IPM は科学ではなくて技術である。技術はそれを使う現場の条件にあった適正技術でなければ普及しない。

長い間支配的であった IPM の理念と技術開発のドグマ、既に多くの研究者が現実にはそぐわないと考えている数々の固定観念から解放されることが、将来の技術開発の、そしてそれをサポートする基礎研究のビジョンを確立するための出発点と考える。

従来の IPM 理念は大規模な単一作物の企業的栽培を前提とした理念である。日本をはじめとするアジアの小規模家族経営農業のための病虫害管理技術開発には、広大な研究のフロンティアが開けている。モニタリングコストが高いか、あるいは精度の高いモニタリングが不可能な場合には、モニタリングや要防除水準を必要としない技術開発を、発生時期は予測できても量の予測精度を高めることが非現実的ならば、それに応じた技術を、短期予測は可能でも長期予測が不可能ならば、それを踏まえた技術を、である。従来の IPM 理念には害虫密度を低く安定に維持するという、永続的な閉鎖系を前提とした捕食者-被食者系に関する理論的研究の影響も色濃く反映されている。これは小規模栽培の1年性作物害虫に対する天敵の活用法には無縁であり、新たな天敵活用理論、天敵の潜在的な能力の評価法が求められている(鈴木, 1966)。そして、様々な病虫害管理の試みが単なる個別知識の蓄積に終わらず、一般性をもつ認識に高めるためにも、理論面の発展も必要であろう。

画期的な害虫管理技術の開発は、害虫とその天敵の行動、生態、生活史、あるいは防除手段の効果を直接観察するなかから生まれた着想がベースとなったケースが極めて多い。創意工夫という面白さ、やりがいを、農家の方々にもっと味わってほしい。またそれを抜きにしては広範な IPM の発展もありえないことを心したい。

## 引用文献

- 1) BARTLETT, B. R. and J. C. ORTEGA (1952): J. Econ. Ent. 45: 783~785.
- 2) COREY, S. A. et al. (eds) (1993): Pest Control and Sustainable Agriculture. CSIRO Information Services, East Melbourne, 514 pp.
- 3) FAO (1966): Proc. FAO symposium on integrated pest control 1, Rome.
- 4) 深谷昌次・桐谷圭治(編) (1973): 総合防除, 講談社, 東京, 432 pp.
- 5) GEIER, P. (1966): Ann. Rev. Entomol.: 471~490.
- 6) HOY, M. A. and D. C. HERZOG (eds) (1984): Biological Control in Agricultural IPM Systems. Academic Press, London, 589 pp.
- 7) 河合 章(1996): 久野英二(編)昆虫個体群生態学の展開, 京都大学出版会, 京都, 75~89.
- 8) KILGRE, W. W. and R. L. DOUTT (eds) (1967): Pest Control, Academic Press, New York, 460 pp.
- 9) 桐谷圭治・中筋房夫 (1971): 農業技術 26: 105~110.
- 10) ————ら (1971): 防虫科学 36: 78~98.
- 11) KNIPLING, E. F. (1979): The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management, USDA, Washington D. C., 659 pp.
- 12) 小山重郎 (1985): 植物防疫 39: 455~460.
- 13) 久野英二 (1984): システム農学 1: 2~15.
- 14) ———— (1988): 植物防疫 42: 509~511.
- 15) MORSE, S and W. BUHLER (1997): Integrated Pest Management: Ideals and Realities in Developing Countries. Lynne Rienner, London, 171 pp.
- 16) 中筋房夫 (1997): 総合的害虫管理学, 養賢堂, 東京, 273 pp.
- 17) RIPPER, W. E. (1956): Ann. Rev. Entomol. 1: 403~438.
- 18) ROSEN, D. et al. (eds.) (1996): Pest Management in the Subtropics, Intercept, Andover, 578 pp.
- 19) SOLOMON, M. E. (1953): Chem. and Indus. 24: 1143~1147.
- 20) STERN, V. M. (1973): Ann. Rev. Entomol. 18: 259~280.
- 21) ———— et al. (1959): Hilgardia 29: 81~101.
- 22) 鈴木芳人 (1994): 植物防疫 48: 357~359.
- 23) 立川雅司 (1995): 中国農業試験場研究資料 23: 1~79.
- 24) WEARING, C. H. (1988): Ann. Rev. Entomol. 33: 17~33.
- 25) WIGGLESWORTH, V. B. (1945): Atlantic Monthly 176 (6): 107~113.

新刊図書

# フェロモン剤利用ガイド

同書編集委員会 編集 B5判 口絵カラー7頁 本文111頁

定価 2,730 円税込み (本体 2,600 円) 送料 310 円

発生予察用フェロモン剤 32 項目、防除用フェロモン剤 15 項目(交信かく乱剤と大量誘殺剤)について、利用できる剤やトラップ(口絵写真付き)の紹介から、使用する際の注意点までを実際に活用している専門家が詳しく解説。基礎的なフェロモンの知識も一般の方でもわかりやすく解説してあります、口絵では混入する昆虫も紹介しており、対象害虫との見比べが可能です。

お申し込みは直接当協会へ、前金(現金書留・郵便振替)で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。  
社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込 1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL(03)3944-1561(代) FAX(03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp