



Title	総合害虫管理IPMのはなし
Author(s)	今井, 長兵衛
Citation	makoto. 2003, 123, p. 2-7
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/85805
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

総合害虫管理IPMのはなし

大阪市立環境科学研究所 研究主幹

農学博士 今井 長兵衛

はじめに

環境の世紀とも言われる21世紀が到来し、市民生活、企業活動、行政施策のあらゆる分野で環境への配慮が求められ、不可欠のものになりつつある。

害虫防除に目を向けると、殺虫剤の使用は世界の食糧生産や感染症対策に絶大な効果を挙げてきたが、他方で抵抗性問題や環境汚染を引き起こしてきたことも事実である。そのような化学的防除がはらむ問題を解決しようとして提唱されたのが総合防除、後に総合害虫管理(integrated pest management、IPM)と呼ばれる新技術システムであった。これまで、IPMは主に農業害虫分野で検討されてきたが、最近、ようやく衛生害虫や生活害虫分野でもIPMの語を聞くようになった。PCO業界でもIPMの推進といった掛け声はあがっているものの、その理念や技術が十分に浸透しているとはいえない現状である。筆者は1970年代後半からIPMの確立に微力ながら携わってきたので、この小文ではIPMについて可能な限り平易な解説を試みたい。

IPMの思想と技術

総合害虫管理IPMは、対象害虫の根絶を目指すのではなく、多様な防除手段を有効に組み

合わせて駆使し、必要最小限の殺虫剤の使用によって害虫の生息数を許容できる範囲内に維持管理しようという技術思想である。

防除手段は基幹的防除手段と副次的防除手段に大別される(表1)。基幹的防除手段とは、害虫の平均密度や変動幅を恒常的に抑制する手段であり、土着天敵や環境改善による発生源縮小などをいう。副次的防除手段とは、一時的に害虫の密度を低下させる手段のことで、殺虫剤、誘引剤、粘着剤、天敵農薬などが含まれる。基幹的防除手段の働きを補助し、その働きに悪影響を与えないものが望ましい。両者の関係を図1に示す。

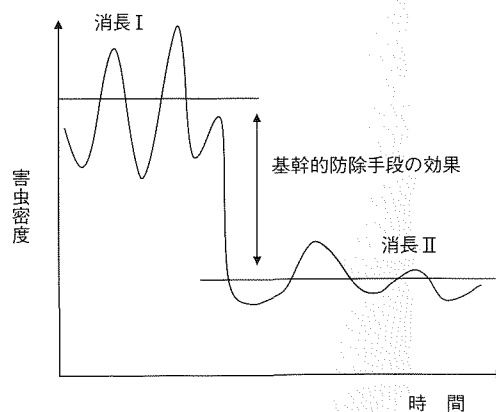


図1 IPMの概念。基幹的防除手段によって消長Iから消長IIに抑制し、一時的な密度増加には副次的防除手段を用いる。

表1 IPMにおける防除手段

基幹的防除手段：低密度、小さい変動幅に抑制

捕食寄生性・捕食性動物

自然感染性微生物

発生源の縮小

抵抗性品種の導入

環境の改変

副次的防除手段：一時的に密度抑制

殺虫剤・殺鼠剤

天敵農薬・微生物農薬

各種トラップ

忌避法(忌避剤、近紫外線除去フィルム、黄色光など)

被害許容水準と発生許容限界密度

環境汚染物質に許容基準が設定されているように、IPMにおいても被害許容水準を設定し、被害がそのレベルを超えないように害虫の発生を抑制することをめざす。想定される被害許容水準の例を表2に示す。

表2 想定される被害許容水準の例

許容水準・限界	農業害虫	衛生害虫	食品害虫	不快害虫
被害許容水準	経済的被害許容水準 (EIL)	予防医学的許容水準	異物混入許容水準	心理的被害許容水準
被害許容水準の尺度	収量、品質	有症率、流行拡大臨界有症率	混入率	嫌悪感
発生許容限界密度	害虫密度	媒介者密度	害虫密度 (侵入、発生)	害虫密度

農業害虫分野では経済的被害許容水準がもっぱら用いられる。害虫によって引き起こされる被害の経済的側面が重視されるからである。衛生害虫に対しては予防医学的許容水準、食品製造過程では異物混入許容水準、不快害虫に対しては心理的被害許容水準といったように、多様な許容水準が存在し得る。筆者は統一的な概念として被害許容水準 (injury level、IL) を用い、これに対応する害虫の密度を「発生許容限界密度」と呼ぶことを提唱している。

衛生害虫の場合、病気を媒介する動物や昆虫の生息密度は低ければ低いほどよく、根絶できればなお良い。しかし、通常、媒介者の根絶は不可能で、生息密度を流行拡大の臨界値以下に抑えて流行を終息に向かわせる戦略が実際的である。その場合には、流行拡大の臨界密度が発生許容限界密度になる。

気持ちが悪い (と人間が思いこんでいる) だけで実際はたいした悪さをしない虫を「不快害虫」という。不快害虫の発生許容限界密度は住民の意識によって変わる。都市化や網戸の普及、自然や自然教育の荒廃などが人間を自然から疎外して「虫嫌い」を増やし、結果として発生許容限界密度が低くなった。つまり、室内に1匹でもハエやゴキブリがいると我慢できないといった心理状況である。しかし、このことは、住民意識を逆方向に変えることで発生許容限界密度を高く設定できることを示唆している。そのためには、正体不明の「異質生物」への恐怖感や嫌悪感を和らげる必要があり、対象種の形態や生態、人間にとって都合の良い面や悪い面、被害実態、防除作業のコストや環境影響などに関する正確な情報を伝え、市民の共通の認識へと高めていくことが必要である。PCO技術者諸氏には、業務委託者である市民や企業担当者に対する「新しい情報提供活動」においても従来以上の活躍を期待したい。

要防除密度と意志決定

要防除密度 (control threshold、CT) とは、被害を許容水準以下に抑えるために前もって薬剤散布などを実行すべき最低の害虫密度のことである。害虫の密度が要防除密度未満の場合には薬剤散布は不要であり、その分、殺虫剤使用量を減らすことができる。薬剤散布の意志決定を被害の生じる時点以前に行うための臨界値として、要防除密度は重要である (図2)。

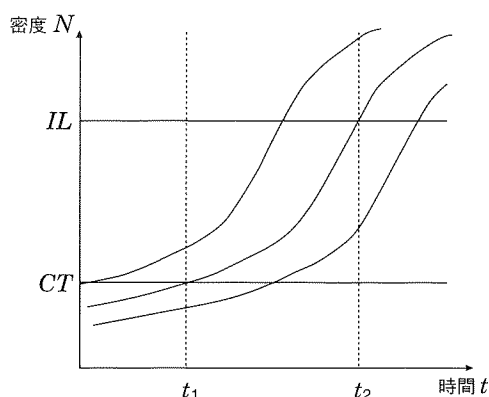


図2 IPMにおける副次的防除手段使用の意志決定システム。意志決定を実行する時点 t_1 の害虫密度 N_{t_1} を調べ、密度変動予測式 $N_{t_2}=f(N_{t_1}, t_2-t_1)$ に代入して被害発現時点 t_2 における害虫密度 N_{t_2} を推定する。 N_{t_2} の値が発生許容限界密度 IL に等しいときの N_{t_1} の値が要防除密度 CT である。意志決定時点において $N_{t_1} \geq CT$ なら副次的防除手段を用い、 $N_{t_1} < CT$ なら次の意志決定時点まで副次的手段を用いない。

要防除密度の値は、意志決定の時点から実際に被害が生じる時点までに害虫密度がどのように増えるかの予測に基づいて設定する。害虫の増え方が早いほど、また、意志決定の時点と被害発現の時点との間隔が長いほど、その値は低くなる。また、意志決定と被害発現の間隔が長いと、密度変動予測の精度も低くなるので、防除に失敗しないためには、要防除密度の値をさらに低く設定せざるを得ない。しかし、意志決定と被害発現の間隔が長いと、適当な間隔をお

いて意志決定を繰り返すことが可能になり、害虫密度が最初の予測より増加した場合に途中で軌道修正する余地が残されるという利点もある。

農業害虫では、作物の栽培開始時から被害発現時までの間隔が長く、意志決定を2回以上実行できる場合が多い。しかし、世代の重複する多化性の衛生害虫の場合には、たとえば温帯では春から秋、熱帯では年中といったように、被害発現期間が長い。そのため、意志決定と被害発現の間隔を人為的・恣意的に決め、定期的に意志決定を繰り返すしかない。ある時点での意志決定は、次の意志決定の時点までに害虫密度が発生許容限界を超えると予測されるかどうかにかかってくる。

IPMシステムの構築法

農業害虫や緑化害虫を除くと、基幹的防除手段として最も重要なのは発生源の縮小である。発生源の面積や分布状況を調べ、縮小の可能性を検討する。次に、害虫にとって不都合な環境条件を知り、発生源の質を悪化させる方法を探る。天敵など自然的な要因の働きを評価し、発生源の質的悪化の手法が天敵に悪影響を及ぼさないか、あるいは、天敵の効果をある程度阻害してもそれ以上の防除効果が見込めるかを評価する。たとえば、クモ類は水田に発生するコガタアカイエカの捕食性天敵として重要な位置を占めており、このような土着天敵が働きやすい環境を保つことが望ましい。

副次的防除手段として最も実用的なのは殺虫剤である。殺虫剤の選定に際しては、対象害虫の殺虫剤抵抗性の実態を把握する必要がある。その上で抵抗性のはほとんど発達していない殺虫剤を用いるべきであるが、できれば抵抗性未発達の殺虫剤を3種程度確保しておきたい。そうすれば、使用中の薬剤に抵抗性が発達しても別の殺虫剤に切り替えることが可能になる。

副次的防除手段として、殺虫剤とは作用機種のちがう防除手段を併用することが望ましい。物理的な手段としては、粘着物質や誘引光による捕殺、あるいは筆者らが開発した「界面活性剤の直接散布によるイエバエの殺滅」などが行われている。

生物的な副次的防除手段としては、天敵農業や微生物農業がある。たとえば、畜舎のイエバエに対するIPMシステムとして、昆虫発育制

御剤IGRの一つピリプロキシフェンの散布と寄生蜂（コガネコバチ科）の放飼を組み合わせる方法の有効性が検討されている。また、捕食性オオカ幼虫や寄生性糸状菌などによるカ類の防除が世界各地で試みられている。生物的手段は殺虫剤の影響を受けやすいので、殺虫剤と同時に用いることが難しく、時間間隔をおいて併用するなどの工夫が必要な場合もある。

生物的防除では、アフリカ原産のフン虫、ガゼラエンマコガネを放牧場に放し、彼らの牛糞埋め込み行動を利用してノイエバエやノサシバエを防除しようという試みもある。この場合には、放飼によってフン虫が定着すれば基幹的防除手段ともなり得る。ただし、外来種（在来種でも遠隔地の個体群）の放飼に際しては、事前に他の生物への影響予測を十分行う必要がある。

生息密度変動予測モデルの構築

変動予測モデルというとなかなか難しい感じがするが、害虫の増え方を予測するにはどうしても必要である。害虫の密度は、産卵数や発育日数など害虫の生態的な性質と気象条件などの外部環境条件によって変化する。

通常、昆虫の生存率は適温域で高く、それより低温でも高温でも低くなる。温帯の昆虫では休眠（冬眠）によって低温耐性を持つものが多い。夏に休眠（夏眠）する種もあるが、大部分は通常の生理状態を維持し、平均気温が30℃を超えると生存率が低下するものが多い。また、餌不足など温度以外の条件が発育に不適当でなければ、適温域の範囲では温度が高いほど発育日数は短くなる。

昆虫の生息状況には温度とともに湿度も影響する。たとえば、「けずりぶし」に生息するコナダニ類は、湿度が60～75%のときより75%以上のときに著しく多い。また、増殖に適した湿度条件は、コナヒョウヒダニの60%を除くと、75～100%とされている。実際に増殖に影響しているのは餌の中の水分含量だという説もあり、ケナガコナダニでは15～20%が最適で、水分含量8%以下ではコナダニ類が発生しないという報告もある。

降雨の多少は湿度に影響を及ぼし、ひいては餌の水分含量をも左右する。たとえば、ごみ処分地では、適度な降雨があると堆積ごみが乾燥せず、イエバエの発生源がより長期間好適な状

態に保たれる。

また、カ類のように水域を発生源とする昆虫に対しては、降雨の多少が発生源の量や質に大きな影響を与える。たとえば、インドネシア北スマトラ海岸部のマラリア媒介蚊の発生源である汽水域では、降雨によって水域が拡大されるが、同時に塩分濃度も下がり、発生源の質が劣化してしまう。大潮による潮の流入と適度な降雨によって塩分濃度があるレベル(0.5%)以上に保たれた水域が拡大するときに、蚊の発生数が増えるのである。

個体数の増加率は1♀あたり産卵数によって上限が決まる。実際の増加率は、産まれた卵が発育して次世代の卵を産むまでの間の死亡によって、上限より低い値になる。死亡要因には、同種他個体との餌や空間をめぐる競争、捕食や寄生、生理的な死亡、気象条件など、さまざまなものがあり、これらを総称して環境抵抗という。各発育段階でどの死亡要因が重要か、あるいはどの発育段階のどの要因が最も重要な死亡要因なのかを把握することが防除に役立つ。

対象害虫の季節消長を把握することも個体数変動の予測に必要である。年間に1~3世代しか出現しない種では、それぞれの世代の発生時期に消長のピークが出現するのが普通である。しかし、多化性の種では、世代が重複し、世代ごとのピークが認められない場合が多い。そのような種では、何らかの要因による個体数の変化が季節消長として現れるのが普通である。乾季と雨季のある熱帯地方では降雨量の変化が昆虫の季節消長を引き起こすことが多い。温帯地方では温度変化が重要であり、夏や初秋に発生がピークになる場合や、夏の高温が個体数を減少させ、初夏と秋に2つのピークが出現する場合などがある。

昆虫の移動は、発生源から離れた地域への侵入を可能にし、被害の様相を複雑にする。昆虫の活動性は、曇天から晴天で気温が高い日に高まる。過度の強風は活動性を鈍らせるが、適度の風は、とくに風下側への移動を促進する。しかし、もっと重要なのは、「夢の島のはエ騒動」のように、生息密度が高いときに移動性が高まること、すなわち密度依存的移動である。

上記のような種々の要因を考慮して密度変動のモデルを作る。農業害虫では複雑なモデルが作られることが多い。衛生害虫でもマラリア流

行モデルのようにやや複雑なものもあり、食品害虫分野でも精密で複雑なモデルが必要かもしれない。しかし、筆者の場合は単純な指数関数モデルを用い、実用的には不足を感じなかった。現場では単純なモデルの方が優れているともいえる。

どのようなモデルを作るにしても、生息密度のパラメーターが必要であり、実際の値を得るためのモニタリングが欠かせない。したがって、モニタリングの手法を決めておく必要がある。粘着トラップ、誘引トラップ、標識再捕など、多様な手法が考えられるが、現場で実行しやすく、高い精度の得られるものが望ましい。トラップを用いる場合は設置数を増やすことで精度が上がる。

要防除密度の設定

被害許容限界または発生許容限界密度(IL)を推定するには被害解析を行う必要がある。被害解析の手法には、①害虫密度のモニタリング、②アンケート調査や聞き取りによる被害状況の把握、③害虫の行動(とくに密度依存的な行動変化)の解析、④害虫密度と被害発生の関係の把握などがある。

たとえば、大阪湾のごみ処分地のイエバエでは、処分地での生息密度があるレベルを超えたときに、対岸の市街地で住民の苦情が寄せられた(図3)。同様に、北スマトラの海岸部のマラリアは、媒介蚊の密度があるレベル以上のときに、流行が拡大する傾向にあった(図4)。

要防除密度の値を求めるには、まず、薬剤を散布するかどうかの意志決定を行う時間間隔(t)を決める。つぎに、密度変化の予測モデルに t (日)や密度の増加速度(R /日)などの値を入れ、薬剤無散布での t 日後の害虫密度 Nt_2 と意志決定時点の害虫密度 Nt_1 との関係式を作る。発生許容限界密度を IL とすると、要防除密度 CT は $Nt_2=IL$ のときの Nt_1 の値として算出できる。

ここで個体数が指数的に増加するという単純な仮定をおくと、要防除密度は、 $CT=IL/R^t$ として設定できる。 CT の値を計算値より高く設定すると、殺虫剤の使用量を減らすことができるが、害虫の密度が IL を超えて防除に失敗する確率が高くなる。逆に低めに設定すると、防除に失敗する危険は小さくなるが、薬剤の使用量が多くなり、コスト高や抵抗性の問題が発生しやすい。

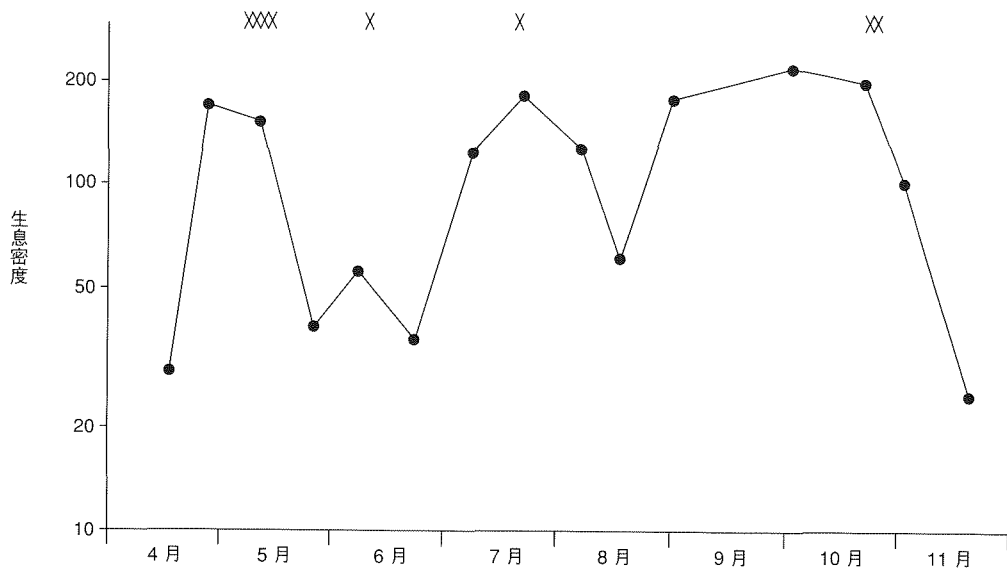


図3 北港処分地のごみ埋立現場におけるイエバエの生息密度 (●) と周辺市街地における苦情の発生状況 (×)。生息密度は生ごみの上に粘着トラップ10枚を30分間静置して求めた1枚あたり捕獲数、苦情発生状況は此花保健所の記録に基づく (Imai, 1985を改変)。

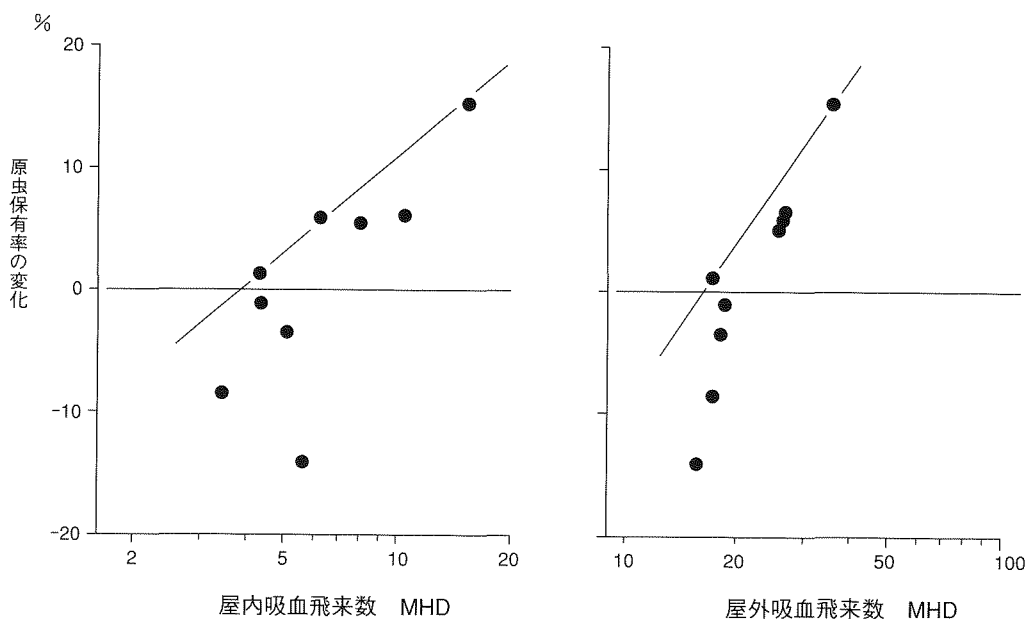


図4 インドネシア国北スマトラ州の1海岸村落におけるマラリア媒介蚊 *Anopheles sundanicus* の吸血飛来数と住民マラリア原虫保有率の変化の関係。MHD：1人1時間あたり吸血飛来数(対数目盛)。i月のMHDに対し、i+1月の原虫保有率からi月の原虫保有率を差し引いた値をプロットしてある。

防除システムの組立

これまで述べたことをまとめると、IPMには以下のような手順が含まれる。

- 1) 基幹的防除手段の選定
- 2) 副次的防除手段実行のための意志決定間隔の決定
- 3) 副次的防除手段の選定および要防除密度の設定
- 4) 基幹的防除手段の実行（一時的、定期的または恒常的）
- 5) 害虫密度のモニタリング（恒常的）
- 6) 害虫密度モニタリング結果と要防除密度との比較による副次的防除手段実行の意志決定（定期的）
- 7) 害虫密度や被害発生状況のモニタリングによる効果判定（恒常的または定期的）

大阪湾の廃棄物処分地におけるIPMの事例

実例として、筆者が開発して大阪湾の施設で実行された廃棄物処分地のイエバエに対するIPMシステムのフローを図5に示す。ここでは、

- 1) 基幹的防除手段としてごみ露出面への定期的な覆土を採用。
- 2) 副次的防除手段実行の意志決定は毎日1回実行。
- 3) 副次的防除手段として殺虫剤と界面活性剤を採用。殺虫剤散布と界面活性剤散布の要防除密度CTは、それぞれ、ハエトリ紙1枚30分間あたり70個体と50個体。
- 4) 基幹的防除手段は毎週または隔週の週末に実行。
- 5) ごみ露出面のイエバエ密度のモニタリングを毎日正午頃に実施。
- 6) 密度が50～70個体の場合には界面活性剤を用い、70個体以上の場合に殺虫剤を散布。密度が50個体未満の場合は無散布。
- 7) ごみ露出面のイエバエ密度と市街地における苦情発生状況のモニタリングにより防除システムの効果を評価。

防除システムを実行した3年間の結果を、殺虫剤（DDVP乳剤とカルクロホス水和剤）主体の防除を精力的に行った1976年と比較すると、イエバエの年平均密度は3～14%に、殺虫剤年間使用量は2～15%に低下した。また、周辺住民からハエの苦情もなくなった。

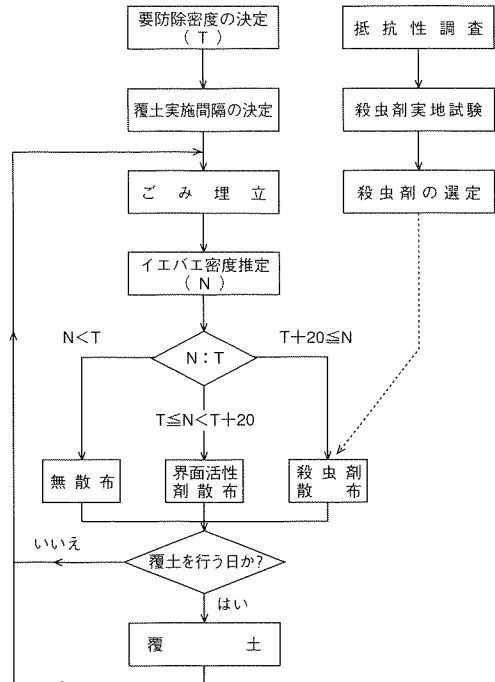


図5 北港処分地に適用したIPMシステム
(Imai, 1985を改変)。

おわりに

ここで紹介した手法はどこにでも適用できるというわけではない。万能薬や特効薬に期待をかけず、小文を参考にして各位がそれぞれの持ち場で創意工夫していただければ、ありがたい。