

特集：発生予察とシミュレーション〔3〕

シミュレーションモデルの発生予察への利用と今後の展望
——コブノメイガを例として——

香川県病害虫防除所 ^{みや}宮 ^{した}下 ^{たけ}武 ^{のり}則

はじめに

病害虫の発生予察に最初に利用されたモデルは、単回帰式や重回帰式などの予察式であった。予察式は主に長期予察を行うことを目的に導入され、各県で種々の病害虫について作成され利用されてきた。しかしながら、回帰式による発生予察は過去数年以上にわたるデータの蓄積の上に成り立っているため、作物の栽培様式や作型、品種などが大幅に変化した場合は、式自体を改変する必要がある、そのために数年以上にわたってデータを取り直す必要がある。しかし、近年の日本農業を取り巻く諸情勢の変化は、価値観の多様化を急速に進め、これが栽培の変化に加速度をつけた。そのため、予察式の改変が栽培の変化についていけなくなっている。しかも、予察式による発生予察には、防除を行った場合の発生量の変化がほとんど予測できないという大きな制約もある。

一方、発生予察への期待も、病害虫の発生量及び発生時期の予測から、防除要否の判定や最適防除手段の決定へと具体化しつつあり、農生態系における病害虫の総合管理（IPM）への貢献が求められている。この期待にこたえるためには、シミュレーションモデル（以下、モデルとする）を利用したダイナミックな予察方法へと移行していく必要がある。

病害虫の発生についてのモデルは、我が国でも多数の研究者によって開発が進められてきた。それらの中にはヤノネカイガラムシのモデル（INOUE, 1976 など）のように病害虫の管理のために開発されたものも含まれていたが、多くは病害虫の発生生態の解明や生態学の理論的予測のために開発されたものであったため、そのまま発生予察に利用するには問題があった。そこで、発生予察用のモデルの開発・改良や利用を推進するために、1977年から特殊調査「シミュレーションによる発生予察方法の確立」がスタートし、以後、「防除要否予測技術導入事業」、「病害虫発生高精度診断システム導入事業」を経て、現在「発生予察地域活用技術確立事業」の中の「地

域発生予測改良・実証事業」として引き継がれている。香川県でも、紋枯病（BLIGHTAS：HASHIBA, 1984；井尻ら, 1986）、セジロウンカとトビイロウンカ（宮下, 1994）、コブノメイガ（宮下ら, 未発表）の発生予察用モデルの開発・改良やいもち病の発生予察モデル BLASTAM（林・越水, 1988；ただし、シミュレーションはできない）の利用を進めている。今回、主にコブノメイガのモデルの開発及び利用状況を通じて、モデルを利用した発生予察の有効性と今後の課題について紹介したい。本論に入るに先立ち、本稿を校閲していただいた農林水産省九州農業試験場の鈴木芳人氏と静岡県柑橘試験場の古橋嘉一氏、本稿の取りまとめに際して有益なご意見をいただいた香川県病害虫防除所の都崎芳久所長に厚くお礼申し上げる。

I コブノメイガ発生予察用モデルの基本構造

発生予察用モデルが満たすべき条件として重要なものは、表-1 に示した 4 条件と考えられる。コブノメイガのモデルについても、これらの 4 条件を満たすよう努力している。モデルの基本構造であるコブノメイガ個体群の増殖モデルは LESLIE マトリックスモデル（LESLIE, 1945, 1948）で、发育速度は有効積算温度則に従う。密度を制御する要因はイネの生育ステージ、捕食性天敵類及び葉剤防除である。飛来量は予察灯（光源：100 W 高圧水銀

表-1 発生予察用モデルに求められる条件

条 件	理 由
発生時期と量が発生パターンとして認識できる。	発生消長が視覚的に認識できる。
耕種概況の変化にある程度対応できる。	複数の作型、耕種概況が一つのモデルで取り扱える。
防除モデルがサポートされている。	防除の有無や防除方法ごとに発生消長が予測でき、最適防除方法の決定に役立つ。
入力用データの調査が容易である。	精度は高くても、調査に多大の労力を要したのでは、実用性や汎用性に問題がある。

Application of a Simulation Model to the Forecasting of Occurrence and its Prospects. A Case of Rice Leaf Roller, *Cnaphalocrocis medinalis*. By Takenori MIYASHITA

灯)への7月第4半旬までの飛来量から推定するが、圃場発生量に応じた補正も行える。

II シミュレーションモデルの広域予測への利用の有効性

発生予測,特に現在行われている広域予測にモデルを利用した場合のメリットとしては,以下の4点が大きいと考えられる。

1 発生パターンとしての予測が可能

飛来性害虫の場合,個体群の増殖に関するパラメータ(有効積算温度と増殖率)がわかっていれば,飛来時期と飛来量から,次世代以降の発生時期と量を予測することができるので,特にコンピュータで計算する必要はない。しかし,実際は,飛来は何波にもわたり,飛来波ごとに飛来量も異なっているのが普通である。図-1には,1993年のコブノメイガの例を示した。200mほど離れた地点の予察灯では7月5~11日(28頭),7月15~20日(29頭)及び7月21~26日(52頭)の3波の飛来が確認されたが,圃場では第2波を中心とするなだらかな単峰形の発生活消長を示している。したがって,予測においても複数の飛来波に由来する複合個体群の発生活消長として予測する必要性が生じる。このような作業はコンピュータのほうが得意なうえ,作図プログラムを付け加えることによって発生活消長が視覚的に予測できるので便利であ

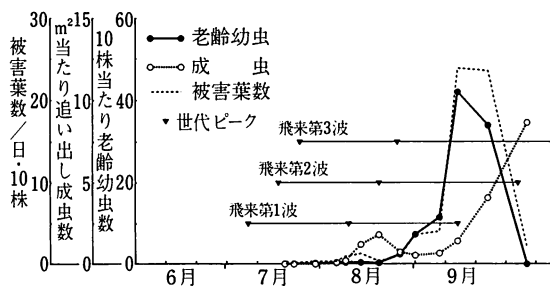


図-1 普通期栽培水稻におけるコブノメイガの発生推移 (香川県高松市, 1993年)

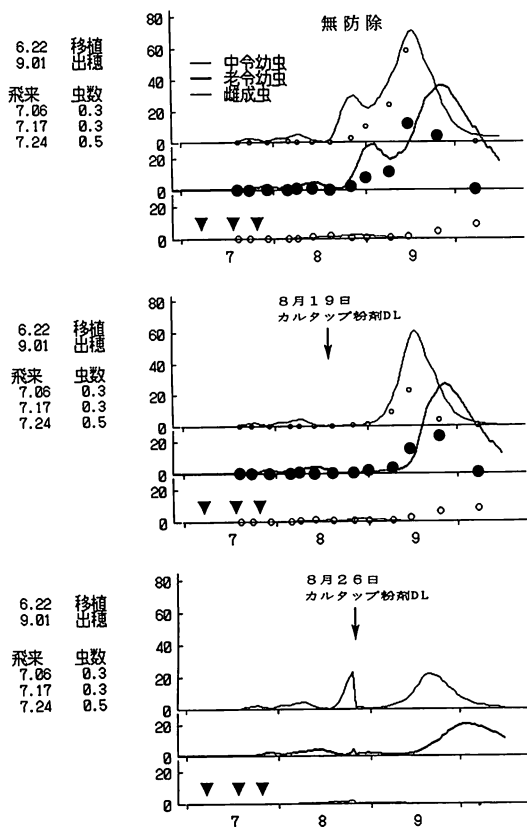


図-2 普通期栽培におけるコブノメイガの発生活消長と防除効果のシミュレーションモデルによる予測 (高松市, 1993年)

実線は予測値,丸は実測値,下向きの三角は飛来時期,矢印は防除時期を示す。

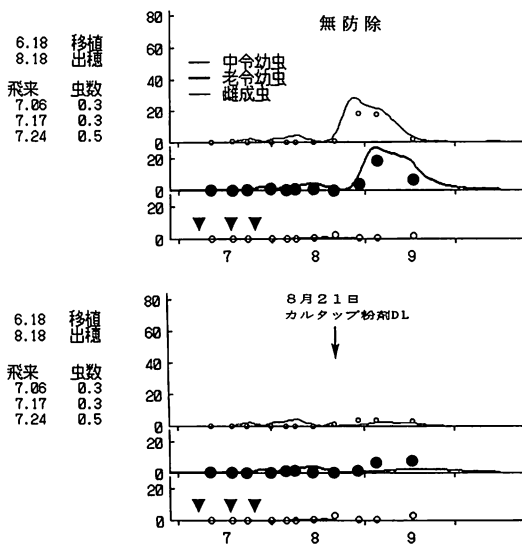


図-3 短期栽培におけるコブノメイガの発生活消長と防除効果のシミュレーションモデルによる予測 (普通寺市, 1993年)

実線は予測値,丸は実測値,下向きの三角は飛来時期,矢印は防除時期を示す。

る (図-2 の上段)。

2 栽培様式の変化に対応した予測が可能

香川県の水稲の作型には、早期栽培と普通期栽培のほかに、短期栽培と呼ばれる早生品種の普通期移植栽培がある。コブノメイガは普通期栽培と短期栽培で問題となる害虫であるが、発生量や発生パターンは作型間で違いがある。図-2 と 3 は、1993 年の普通期栽培 (図-2) と短期栽培 (図-3) におけるコブノメイガの発生消長と防除効果をシミュレーションで予測した結果である。いずれも最上段の図が無防除田での消長を示しており、実線が予測値、丸が実測値である。モデルには、出穂期を過ぎたイネでは成熟成虫の割合が低下する性質 (WADA and KOBAYASHI, 1982) を組み込んであるため、飛来消長や気温に同じ値を入力しても、予測結果は作型に応じて異なっている。このように、病害虫の増殖や発育に及ぼす作物の影響をモデルに組み込むことによって、同一のモデルで作物の作期や作型を超えた予測が可能となり、予察業務の省力化にもつながる。

3 防除適期の予測が可能

図-2 の中段の図は 8 月 19 日に、下段は 8 月 26 日にカルタップ剤で防除した場合の発生消長を示している (8 月 26 日防除については実測値はない)。現地では穂ばらみ期にあたる 8 月中旬にコブノメイガの防除を計画していたが、シミュレーションの結果からは、この年の普通期栽培については防除時期を遅らせたほうが高い防除効果が期待された。図-3 の下段は、短期栽培で 8 月 21 日に防除した場合の発生消長を示している。現地では出穂期にあたる 8 月 20 日ごろに防除を計画していたが、シミュレーション結果からは、計画どおりの防除で効果が高いと予想された。これらの結果から、1993 年については、普通期栽培では防除時期を遅らせ、短期栽培では計画どおりの時期に防除するよう指導し、一応の成果を納めることができた。

このように、防除効果が予測できるモデルを利用すれば、作型、防除薬剤、防除時期などを変えてシミュレーションを繰り返すことによって、作型や防除薬剤ごとに防除適期を推定でき、防除指導が効率的に行える。

4 説得力が増す

以上からも明らかなように、モデルを利用すれば発生消長や防除効果が一目で確認できるという利点もある。これによって農家に対する説得力は飛躍的に増すため、発生予察やそれに応じた防除指導を行う側にとっては大きな武器となる。

III 防除要否の判定に向けて

1 現状

今後の発生予察に求められているのは防除要否の判定であるが、現在のコブノメイガの予察モデルでは発生量は正確には予測できないので、防除要否の判定は行えない。したがって、予察情報を発表したり、予察結果に基づく地域の防除方針を周知する場合、作型や防除薬剤別の防除適期だけでなく、要防除水準 (正確な値がない場合は、一応の目安でもないよりはまし) も合わせて提供しなければ、情報を受け取った農家は、どうしてよいかわからなくなってしまう。

香川県では、普通期栽培でのコブノメイガの防除の目安を、8 月上旬の被害株率で 20% と設定しており (宮下, 1993)、圃場被害がこの値を上回る場合は、予察モデルで推定された防除適期に防除を行うよう指導している。

2 モデルによる防除要否の判定

一方、発生量が正確に予測できるモデルがあれば、防除要否の判定もモデルにゆだねることができる。それには、モデルの適合性を高めることが不可欠であり、そのために重要なモデルの改良点としては、飛来消長の推定法、防除モデル及び天敵モデルの改善、イネとコブノメイガ個体群との相互作用の解明や水田内微気象の推定法の改良があげられる。しかし、研究分野は生理、生態、行動、化学など多岐にわたるので、一人の研究者が発生量が予測できるモデルを作成するのは容易ではない。

また、これらの作業に利用できると思われる過去の発生消長調査結果や防除試験データなどについても、いざ利用しようとする、そのままでは利用できないものが多い。例えば、ウンカにしても、蓄積されているデータはすくい取り虫数、払い落とし虫数などの相対密度であるため、実際に寄生していた虫の数が不明確である。発育ステージも成虫と幼虫の区別しきれないものが多いが、モデルの開発・改良には齢期別、翅型別のデータが必要な場合が多い。モデル開発の効率化を図るためには、複数の研究者による共同研究が望まれる。また、水田内微気象の推定法などは複数のモデルで共用できる可能性が高いので、このような部分については共通のサブルーチン化も考えられる。

ただし、発生量が予測できるモデルが完成しただけでは防除要否の判定はできない。モデルが防除要否を判定するための基準が設定されていなければならない。これは要防除水準でもよいが、モデルを用いる場合は被害許容水準 (EIL) で十分である。要防除水準は病害虫の発生

量が EIL を超えるかどうかを防除適期以前に判定する一種の予察技術である。しかし、モデルを使えば、発生量が EIL を超えるかどうかは臨機応変に予測できる。モデルによる防除要否の判定の実用性を高めるためには、EIL を経時的に設定したり、多段階に設定したりすることのほうが重要である。ただし、これについては紙面の都合で詳しい説明は省略する。

このように、防除要否が判定できるモデルの開発は容易ではないが、カンキツ黒点病 (MELAN 2: 小泉, 1980) やイネいもち病 (BLASTL: 橋本, 1984) など、利用段階に入ったものもある。

IV シミュレーションモデルによる防除要否の判定における問題点

防除要否や最適防除手段が決定できるモデルが完成した場合、これを広域予察に利用することはできる。しかし、県全体や市町村などを単位とする広域に対して発生予察を行う場合、防除要否を判定すること自体に無理がある。これは、圃場間差が大きいため、全体的には発生量は少なくても特異的な多発圃場があったり、その逆の場合があったりで、一律に防除方針を決定できないためである。このため、広域予察では「防除の必要はありません。」という情報は出しにくい。したがって、現場の農家や生産組織などがモデルを直接利用すれば、メリットはより大きくなると考えられる。

しかし、いくらメリットがあるからといって、農家がパソコンを備え、気象データを購入手、必要な調査を自ら行ってモデルを運用するのは、いかにも非効率的である。また、予測精度の高いモデルの宿命として、パラメータ数が増え、入力データを得る調査も複雑になるので、当面はモデルの運用は発生予察組織 (病虫害防除所など) で行わざるをえないと考えられる。そこで、県段階で発生予察用モデルを運用するホストコンピュータを備え、必要な気象データや調査データなどを入力しておく。農家や生産組織は端末機からアクセスして、耕種概況や発生状況などのシミュレーションに必要なデータを入力し、自分の圃場にあった発生予想や防除対策を引き

出す。これは、現在の広域予察とは別の地域予察として、予察事業がめざしているシステムであるが、モデルを防除戦略の決定に役立てるためには、このようなシステムの確立が望まれる。

おわりに

水稻や果樹など多くの防除暦をみる限りでは、複数の病虫害を混合農薬で同時防除する場合が目立つ。したがって、モデルで 1 種類の病虫害の防除戦略が決定できたとしても、同時防除が計画されている他の病虫害のことも考えなければ、作物の被害回避上は支障を来す場合がある。これは、主要病虫害のほとんどすべてについてモデルが完成しなければ、防除戦略の決定をモデルに移行できない可能性を示している。

また、たとえすべての病虫害のモデルが完成したとしても、複数の病虫害が同時発生した場合の被害予測が行えなければ、経済的な防除戦略は決定できない。この問題を解決するためには、主要病虫害のすべてを組み込んだモデルと作物の収量予測モデルのリンクが必要と考えられる。これは、現段階では夢に近いシステムではあるが、作物の収量予測モデルが完成すれば一挙に加速度がつく研究分野だと考えられるので、病虫害のモデルを作成する際には、モデルを構成する一つ一つの部品について、収量予測モデルとのリンクも考慮して仕上げていくことが望ましいと思われる。

引用文献

- 1) HASHIBA, T. (1984): JARQ 18 (2): 92~98.
- 2) 橋本 晃ら (1984): 福島農試特研報 2: 1~104.
- 3) 林 孝・越水幸男 (1988): 東北農試研報 78: 123~138.
- 4) 井尻 勉ら (1986): 植物防疫 40: 348~351.
- 5) INOUE, T. (1976): Res. Popul. Ecol. 18: 89~104.
- 6) 小泉銘冊 (1980): 果樹試報 D-2: 39~82.
- 7) LESLIE, P. H. (1945): Biometrika 33: 183~212.
- 8) ——— (1948): ibid. 35: 213~245.
- 9) 宮下武則 (1993): 今月の農業 37 (6): 46~50.
- 10) ——— (1994): 1994 年昆虫・応動昆合同大会講要 D 408.
- 11) WADA, T. and M. KOBAYASHI (1982): Appl. Entomol. Zool. 17: 278~281.