

第1章 緒言

ヒメトビウンカは我が国の稲作の重要害虫であるウンカ・ヨコバイ類の一種であるが、しばしば大発生をして大きな被害をもたらしてきたトビイロウンカやセジロウンカとは異なって、個体数の比較的安定した土着種である。

本種は、吸汁による直接加害者としてよりはイネ縞葉枯病の媒介者として注目されることが多かった。イネ縞葉枯病は、水田へ移植後のイネに発病し、発病したイネは新葉が展開せず黄白色となって下垂し枯死する全身病で、ゆうれい病とも呼ばれる。本病は、今世紀初めから群馬、栃木、長野の各県で認められ、1929年にヒメトビウンカが媒介することが明らかにされて(栗林, 1931a, b), 一応の被害軽減策が立てられた(天野, 1933, 1935, 1937; 栃木農試, 1935, 1937)。しかし、本病はその後発生拡大を続け、1954, 1957年に関東地方(安尾ら, 1965; 滝田, 1977), 1949, 1950年に岡山県(山田・山本, 1955), 1959年に九州(那須, 1963)でそれぞれ多発生し、1960年代には全国的な多発生があった(柴田, 1966; 岸本, 1979, 1980; 新海, 1985)。これに伴い、本病の伝染、発病、品種抵抗性など多くの研究がなされた。また、1941年に開始された全国的な病害虫発生予察事業のもとでヒメトビウンカの基礎的な発生生態が調査され(末永・中塚, 1958), 本種がイネ以外の多くのイネ科植物を寄主とし、気象条件やイネの栽培条件の影響を受けて地域により大きく異なった発生消長を示すことなどが明らかにされた。

北海道においては、本種は当初ムギ北地モザイク病の媒介者として注目され(伊藤・福士, 1933), 主に畑作地帯において防除に関する研究がなされた(石井, 1981)。その後、北海道においてもイネ縞葉枯病の発生が確認され(小林ら, 1968), 上川地方を中心に急速に蔓延したことから(馬場, 1970), 北海道立上川農業試験場ではイネ縞葉枯病の媒介者としてのヒメトビウンカの試験研究を1971年から開始し、越冬世代を中心とした本種の発生生態(梶野, 1982; 梶野・八谷, 1983), イネ縞葉枯病の発病経過(梶野・奥山, 1980), 保毒率の変動(奥山・梶野, 1980)などについて本州以南の地域との違いを明らかにし、殺虫剤施用を中心とした本種の防除法を確立した(岩田ら, 1979; 梶野, 1992)。

しかし、イネ縞葉枯病は1978年に道南地方、1980年に道央の石狩支庁に蔓延するなど発生拡大を続けた(真野, 1981)。これに対応してヒメトビウンカに対する防除は

年々強化され、多回数の殺虫剤施用が行われるようになったが、本種の発生密度は高いまま推移した(真野, 1984)。さらに本種は、1984, 1985年に発生密度が急激に上昇し、1985年夏には道内全域において全国的にも例のない異常な高密度に達し、イネに吸汁害による惨害をもたらした(八谷ら, 1987)。その後も本種の発生密度とイネ縞葉枯病の発病程度は、1985年以前より高いレベルを維持している。このため、殺虫剤による防除はイネ縞葉枯病媒介者としての防除に加えて吸汁害防止の目的でも行われるようになり、現在に至り本種は北海道の稲作において薬剤防除回数の最も多い害虫の一つとなった。

一方、近年は、農業環境の変化から、病害虫対策における防除コスト低減と農薬使用量の削減が農業分野の内外から求められるようになり、ヒメトビウンカの防除もこの要請の対象となっている。このため、現在本種に対して行われている薬剤防除をよりの確で効率的なものに改善し、少ない防除回数で発生を低密度に抑えることが必要となり、その技術的基礎となる本種の発生予測技術の確立、要防除水準の設定、薬剤防除体系の合理的組立て手法の確立などが技術開発分野での重要課題となってきた。

本種の発生予測法は、病害虫発生予察事業の開始とともに回帰式を用いる方法が検討されてきたが(末永・中塚, 1958), 本種の発生には相互に関係を持つ多くの要因が関与し、有意な予察式を得ることができなかった(高山, 1985)。しかし、近年の情報処理機器の発達により、発生制御要因が定量的に把握された害虫については、個体群動態のシミュレーションモデルの作成も可能となった。我が国においては、柑橘のミカンハダニに対し初めて個体群動態モデルが作成され(Furuhashi et al., 1981; 村岡・塩見, 1986), その後、施設園芸作物のナミハダニ(斎藤ら, 1986), ミナミキイロアザミウマ(Kawai and Kitamura, 1987, 1990)などでも有効なモデルが作成され、効果的な防除法が明らかにされてきた。

本研究は、ヒメトビウンカについて、その個体群動態に関わる各種要因を明らかにし、これに基づいて発生生態のシミュレーションモデルを作成した。その結果、作成したモデルによって本種の発生予測法と薬剤防除法の改善が可能となったので、これらをまとめて報告する。

第2章 ヒメトビウンカ個体群動態の特性解析

第1節 ヒメトビウンカの発生生態と防除法の概略

ヒメトビウンカ *Laodelphax striatellus* (Fallén) は我が国に広く分布し、北海道においてはおよそ図1および以下に示すような発生生態をとることが明らかとなっている。(なお、本報における昆虫の世代の呼び方は、日本応用動物昆虫学会が提唱したもの(応動昆, 1986)に従った。)

本種は、イネ以外にもコムギ、スズメノカタビラなど多くのイネ科植物を寄主とすることができ、水田に発生する個体群は、イネと水田周辺のイネ科植物上で生育している。越冬態は中齢幼虫、越冬場所は主に水田畦畔(以下、単に畦畔と略記)の雑草中である。春期に畦畔で羽化した越冬世代成虫はイネの移植後間もない水田に侵入し、イネを寄主として収穫期まで数回の世代交替をする。秋期の短日にもとまって休眠幼虫が現れ、イネの収穫とともに休眠幼虫が畦畔に移動し、越冬に入る(梶野・奥山, 1980)。年間の正確な発生世代数は従来必ずしも明確にされていなかったが、本研究により2~3回であることが明らかとなった。

イネは、本種の媒介により6月上旬~7月下旬にイネ縞葉枯病に感染し、6月下旬~8月上旬に発病する(梶野・奥山, 1980)。吸汁による本種の直接害(図2)は、本種の発生密度が高まる夏期に起こり、これまでの例では、8月下旬~9月上旬の第2世代成虫の発生時期に最も大きくなる(八谷ら, 1987)。殺虫剤を使った本種の薬剤防除は、イネ縞葉枯病対策としては移植時の育苗箱施用、移植後の茎葉散布および水面施用があり、茎葉散布と水面施用は、6月上旬~7月上旬に越冬世代成虫と第1世代の若齢幼虫に対して行われている。吸汁害に対しては、7月下旬~8月下旬に主にアカヒゲホソミドリメクラガメ *Trigonotylus coelestialium* (Kirkaldy) との同時防除として殺虫剤の茎葉散布が行われている。このほか、畦畔防除と呼ばれる殺虫剤散布がイネの移植前または収穫後に畦畔の越冬幼虫に対して行われることがある(北海道農政部, 1995)。本種およびイネ縞葉枯病の薬剤防除は、一般に1回の殺虫剤施用の防除価が低いため、複数回の殺虫剤施用を計画的に組み合わせてできるだけ大面積で行わなければならないとされている(奥山・梶野, 1981)。

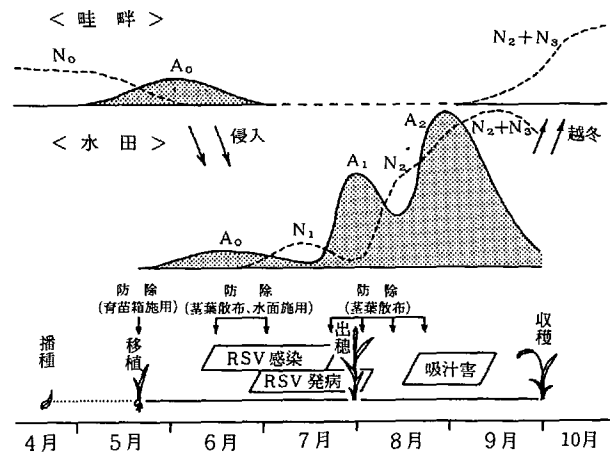


図1 北海道におけるヒメトビウンカの発生消長模式図

注) $A_0 \sim A_2$: 越冬世代~第2世代の成虫, $N_0 \sim N_3$: 越冬世代~第3世代の幼虫, RSV: イネ縞葉枯病。



図2 ヒメトビウンカとその吸汁害を受けたイネ穂(1985年, 旭川市)

第2節 ヒメトビウンカ個体群動態の特性解析

第1項 解析方法

ヒメトビウンカの発生予測を行うにはどのような数理モデルが有効であるかを知るには、本種の発生消長を集計解析し、発生動態の特徴を明らかにする必要がある。

直接の観察や全個体の捕獲によって本種の正確な発生密度を知るには多大な労力が必要なので、農林水産省の病害虫発生予察事業の中でこれまで北海道が実施してきた本種の発生調査データを使用した。調査地は旭川市永山の北海道立上川農業試験場（以下、上川農試と略記）内の圃場とした。調査方法は、捕虫網によるすくい取り法、黄色水盤法およびイネ株の払い落し法で、調査はいずれも病害虫発生予察事業の調査基準に従って行なった。調査場所は水田、畦畔、秋播きコムギ畑および春播きコムギ畑で、いずれの調査場所に対しても殺虫剤は全く使用しなかった。調査年数は水田と畦畔が1971～1991年の21年、コムギ畑が1990、1991年の2年とした。

第2項 各世代成虫の発生密度とその世代間変化率

発生調査において計測された個体数から発生密度を求めるには、発生調査の調査効率—すなわち、カウントされた個体数と発生密度との対応関係—が知られていなければならない。しかし、調査効率は一般に気象条件や作物の生育ステージによって異なるものであり、本種の場合、正確な調査効率は把握されていず、発生調査データから正確な発生密度を知ることは難しい。ただし、調査効率の年次変動は発生調査に大きな影響を及ぼすほど大

きくないと考えられるので、ここでは実際の発生密度の推定は行わず、計測された個体数自体を以下の方法で集計して相対的な発生密度とし、その世代間変化率の年次変動を調べた。

発生予察事業の調査データは、半旬—すなわち上、中、下旬をそれぞれ2等分して1ヶ月を6分割したもの—ごとに集計されているので、すくい取り法と黄色水盤法による成虫数の半旬値（すくい取り法では20回振りの捕獲個体数の半旬平均を5倍して5日分に換算した個体数、黄色水盤法は5日間に捕獲された個体数）を世代ごとに単純合計し、発生個体数とした。世代間で発生が連続する場合の世代の区切りは、両世代の発生ピーク間で個体数が最少となった半旬とし、その半旬の個体数は発生ピークに近い方の世代に含めた。発生ピークは、成虫数が最多となった半旬とした。

このような集計の結果、すくい取り法による発生個体数の平均値（対数で計算）は、越冬世代成虫（畦畔）が91.8頭、第1世代成虫（水田）が286.5頭、第2世代成虫が686.6頭であり、越冬世代が最も少なく、第2世代が最も多かった（表1、図3）。越冬世代が生息する畦畔は他の世代が生息する水田より面積が小さいので、越冬世代と他の

表1 ヒメトビウンカ各世代成虫発生個体数の年次変動

	越冬世代成虫 (A ₀)		第1世代成虫 (A ₁)	第2世代成虫 (A ₂)
	すくい取り(畦畔)	黄色水盤	すくい取り(水田)	すくい取り(水田)
最 多 年	1656.5	592.0	13651.0	94307.0
最 少 年	5.6	2.0	1.7	34.9
平 均	91.8	46.6	286.5	686.6
標準偏差 (Log ₁₀ X)	0.687	0.619	0.808	0.989

注) 平均と標準偏差は対数を用いて計算し、平均は真数、標準偏差は常用対数で示した。

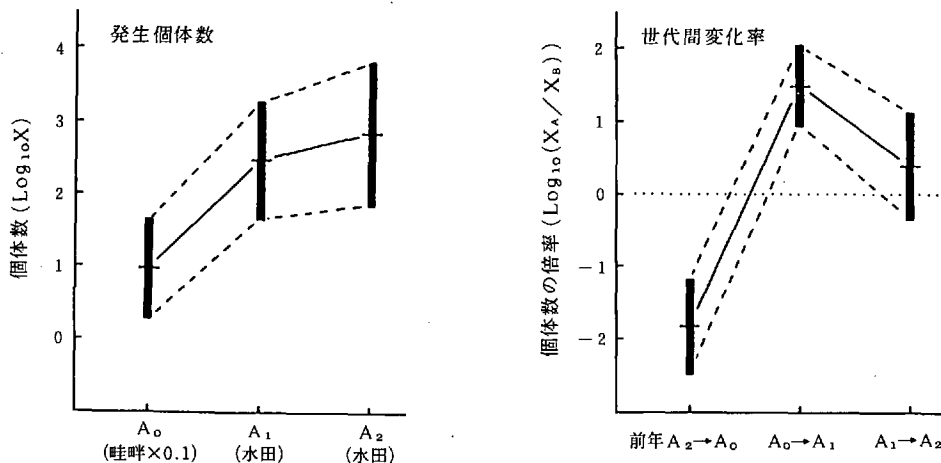


図3 各世代成虫の発生個体数とその世代間変化率

- 注) 1. 発生個体数は表1と同じ値を使った。越冬世代の発生個体数は畦畔すくい取りによる。
- 2. 越冬世代の発生個体数は、水田と畦畔の面積比率を勘案し、畦畔すくい取りの個体数に0.1を乗じて水田での発生個体数に換算した。
- 3. 集計には対数値を用いた。縦棒で示すレンジは平均値±標準偏差。
- 4. A₀～A₂: 越冬世代～第2世代の成虫。

世代との実際の個体数の差はさらに大きいはずである(図3はこの点を補正して表示)。これらのことから、本種成虫の発生個体数の平均的な世代間変化は次のように記述できる。即ち、越冬世代から第1世代にかけて急激に増加し、さらに第1世代から第2世代にかけて漸増して年間の最高密度に達したあと、第2世代から次年春の越冬世代にかけて著しく減少する。

各世代成虫の発生個体数の年次変動は極めて大きく、対象となった21年間の最多年と最少年の開きは越冬世代が296倍(畦畔すくい取り, 黄色水盤), 第1世代が8,030倍, 第2世代が2,702倍となった。また、発生個体数の年次変動の標準偏差は、対数で計算したもの(表1)を実数に戻すと、越冬世代が4.86倍(畦畔すくい取り)と4.16倍(黄色水盤), 第1世代が6.43倍, 第2世代が9.75倍となり、発生個体数の年次変動は後の世代ほど大きく、世代を経るごとに発生密度が一定のレベルに近づいていくような傾向はなかった。

発生個体数の世代間変化率の年次変動は、越冬世代から第1世代への変化率が最も小さく、前年の第2世代から当年の越冬世代への変化率がこれに次いで小さかった(図3の右)。第1世代から第2世代への変化率は、これら両世代とも生息環境の比較的安定した水田内で発生を続ける世代であるにもかかわらず年次変動が最も大きかった。

次に、発生密度の変動をさらに解析するため、生命表分析における各发育段階を各世代に置き代えて変動要因を推測する Verley and Gradwell (1960) の方法に従って、各年次の世代ごとの成虫発生個体数をグラフ化した(図4)。越冬世代は畦畔すくい取りとイネ株払い落しの両方の個体数を示した。なお、払い落しの個体数の集計は、すくい取りなどと同じ方法によった。

発生密度の年次変動を世代間で比較したところ、畦畔上の越冬世代(A_0 : 畦畔)と水田に侵入した越冬世代(A_0 : 水田)の発生密度変動はほぼ等しく、第1世代(A_1)も越冬世代と類似した発生密度変動であったが、第2世代(A_2)の発生密度変動は第1世代のそれとはやや異なった。

図4を表1および図3と合わせて考察すると、①本種が春期から秋期まで世代交替をする過程には密度依存的な発生制御要因が弱く、後の世代ほど発生密度の年次変動が大きくなること、②越冬世代成虫の畦畔から水田への侵入率は一定であること、③越冬世代から第1世代への発生密度の増加率は大きい、その増加率の年次変動は比較的小さいこと、および④第1世代から第2世代への発生密度の増加率は小さい、その増加率の年次変動

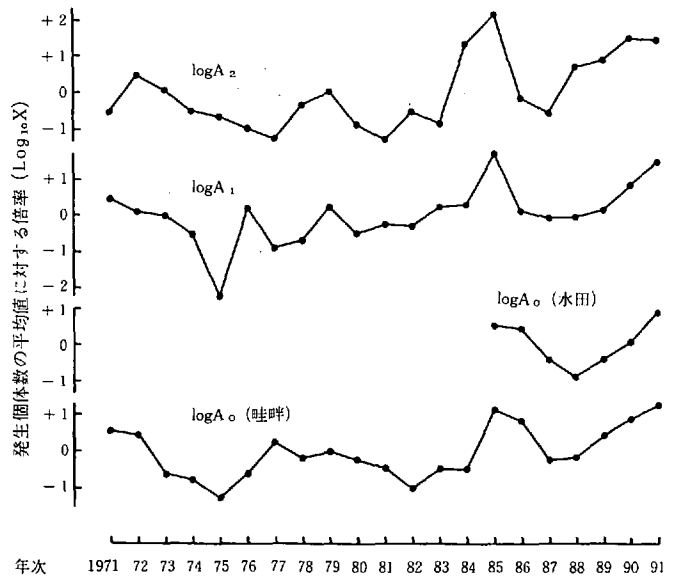


図4 各世代成虫発生密度の年次変動

注) A_0 (畦畔), A_1 (水田), A_2 (水田)は表1および図3に示した値。
 A_0 (水田)はイネ株払い落とし調査による。

は大きく、越冬世代から第1世代への発生密度増加とは異なる変動要因が加わっていると考えられることなどが明らかとなった。

第3項 年間の発生世代数

本種が1世代の发育に要する有効積算温度と旭川市における年間の有効積算温度との関係について図5に示した。また、第4章で個体群動態モデルの適合性の検討に用いた道央の岩見沢市と道南の亀田郡大野町についても年間の有効積算温度を集計して旭川市と比較した(表2)。対象年次は1979~1991年とした。なお、第3章で述べる試験結果に基づき本種の发育零点は 11°C 、産下卵から成虫の産卵前期間終了までの发育有効積算温度は 370 日度とし、これを1世代の发育有効積算温度とした。有効温度は、坂神・是永(1981)の三角法によって、日最高気温と日最低気温から計算した。

その結果、旭川市における年間の有効積算温度は平均 2.76 世代分に当たり、最多年は 3.36 世代分に当たったが、 3 世代分に満たない年が 13 年中 10 年あり、最少年は 2.19 世代分に過ぎなかった。岩見沢市の年間有効積算温度は旭川市より多く、平均 3.16 世代分に当たったが、 3 世代分に満たない年が 4 年あった。大野町では、平均値が旭川市と等しい 2.76 世代分に当たり、 3 世代分に満たない年が 11 年あった。

生息場所における微環境の温度は第3章で示したように春期に気温より高いことがある。従って、そこでの年間の有効積算温度は通常的气象観測による気温から求めた上記の年間有効積算温度よりある程度多いと推定され

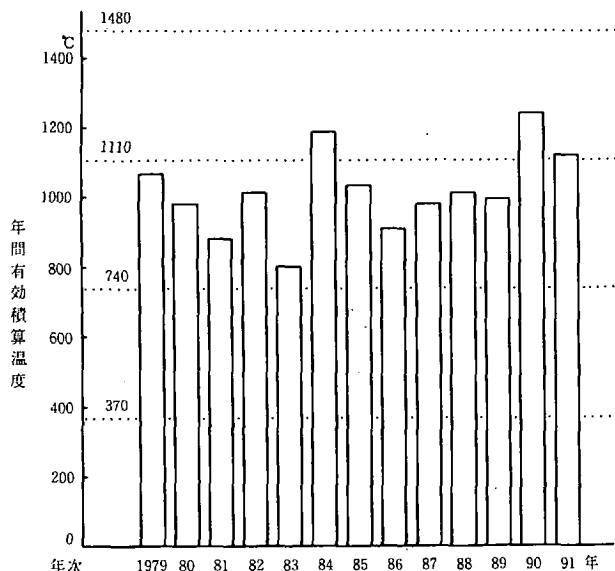


図5 年間の有効積算温度と1世代の発育に要する有効積算温度(370日度)との関係(旭川市)

表2 北海道内3地点の年間有効積算温度(1979~1991年)

	旭川	岩見沢	大野
	日度	日度	日度
最多年	1242.8	1401.4	1207.5
最少年	806.9	987.1	901.7
平均	1021.2	1168.2	1019.7
標準偏差	119.8	120.7	97.4

る。一方、1世代の発生に要する期間は、正しくは卵が産下された時から次世代の卵を産下するまでであるので、上記の計算の1世代分の発育有効積算温度370日度に、産卵開始期から個々の卵の産下までの成虫期間を加える必要がある。成虫の生理的平均寿命は第3章に示したように11℃以上の積算温度にして240~430日度であることから、野外における生態的寿命が生理的寿命より短いことを考慮しても、1世代の発生に要する有効積算温度は370日度より少なくとも数十日度は多いと見られ、この点で年間に発生可能な世代数は上記の計算値よりさらに少ないと見積られる。従って、年間の有効積算温度は、気温と生息場所の温度の違いを考慮しても、いずれの地域においても3回の世代交替を毎年行うには十分でないことは明らかであり、実際の年間発生世代数は通常2回と3回の混合であると判断される。

年間の有効積算温度が3世代分に満たない時は、理論的には越冬直前に第2世代成虫の発生期となる事態も想定される。しかし、実際には越冬直前に成虫が観察されることは極めて稀であり、低温年であっても成虫の発生—それがどの世代であっても—は9月下旬までに終わ

る。毎年9月下旬以降は中齢の休眠幼虫か休眠に入る前の若齢幼虫が多数観察されるので、第2世代は一部あるいは大部分の個体が幼虫期に発育を停止して休眠に入り、休眠しなかった発育の早い個体のみが羽化して第2世代成虫となると考えられる。従って、第1世代成虫から第2世代成虫への発生密度の増加率(前項の表1、図3などに示した)が小さい一因は、このように第2世代成虫の羽化率が低いことであると考えられる。

また、年間の有効積算温度は年次によって1世代分以上の違いがあることから、第2世代成虫の羽化率が年次によって大きく異なることは明らかであり、羽化率が大きく変動することが第1世代成虫から第2世代成虫への発生密度の増加率の年次変動が大きい主要因であると考えられる。

第4項 幼虫期の死亡状況

幼虫期の死亡状況を知るため、1991年に水田内の第1世代と第2世代の各齢幼虫と成虫の発消生長を調査した。第1世代の調査は6月15日~7月30日に払い落とし法で、第2世代の調査は8月2日~9月27日にすくい取り法で行った(図6)。その結果、第1世代においては各齢幼虫と成虫の個体数に大差がなく、また第2世代においても4齢幼虫に達するまで個体数が減少しなかった。若齢より後の齢のほうが個体数が多い時があったので、一部に調査時の見落とし率やすくい取りの捕獲率が齢期により異なったものと考えられる。しかし、これらの調査効率は齢期により極端に異なることはないので、この調査結果は、幼虫期間の死亡率が小さく、孵化幼虫の大部分が羽化(第1世代)または4齢幼虫(第2世代)にまで達することを示していると考えられる。

また、第2世代においては、一部の個体は3齢で生長が緩慢となり、4齢で体色や体型が非休眠幼虫とはやや異なる休眠幼虫となり、休眠しなかった個体のみが5齢を経て第2世代成虫となるのが観察された。

本種の成虫発生密度は越冬世代から第1世代にかけて急上昇すること、第1世代から第2世代への成虫発生密度の増加率が小さいこと、および年間発生世代数が2回と3回の混合であることを前項までに示したが、本項の結果はそれらと矛盾せず、むしろそれらの現象が生じる原因を具体的発生経過から説明可能であった。

なお、1991年は比較的高温の年であったが、第3世代幼虫の発生は9月末のイネの収穫期に至っても認められず、収穫後の畦畔における越冬幼虫の大部分は第2世代幼虫であった。従って、越冬世代における第3世代幼虫の占める割合は通常ごく小さいと考えられる。

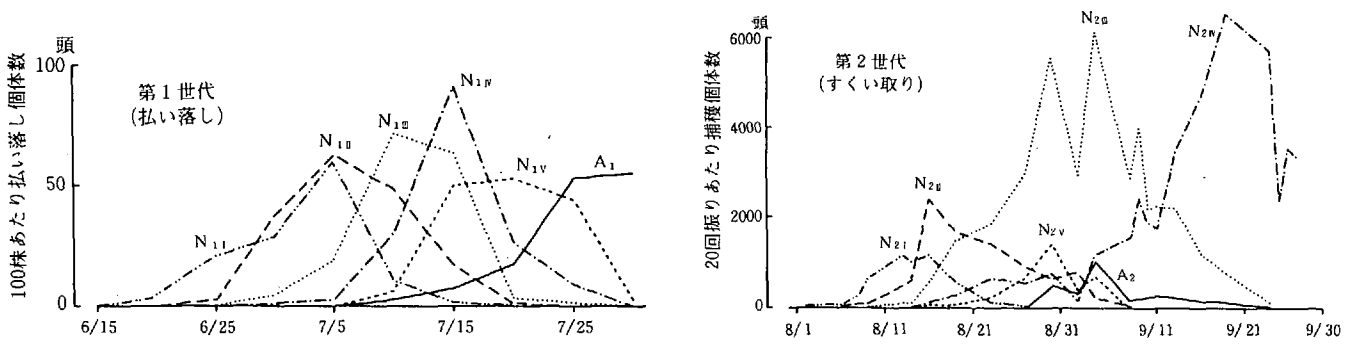


図6 水田における第1および第2世代の各齢幼虫数と成虫数の推移

注) 1991年に上川農試圃場で調査。A₁, A₂は第1, 第2世代成虫, N_{1I}~N_{1V}は第1世代の1~5齢幼虫, N_{2I}~N_{2V}は第2世代の1~5齢幼虫を示す。

第5項 コムギ畑における本種の発生との関連性

コムギは稲作地帯において水田転換畑などに広く栽培されている。コムギは本種の好適な寄主植物であるため、コムギ畑の存在は水田における本種の発生に何らかの影響を与えている可能性がある。具体的にどのような影響

があるか、以下のとおり世代ごとに検討した。

越冬世代については、秋播きコムギ畑が一見本種の好適な生息地であるとみられがちである。しかし、秋播きコムギの播種期は9月上旬から下旬であり、第2世代成虫の発生末期になってコムギの発芽が始まるという時間

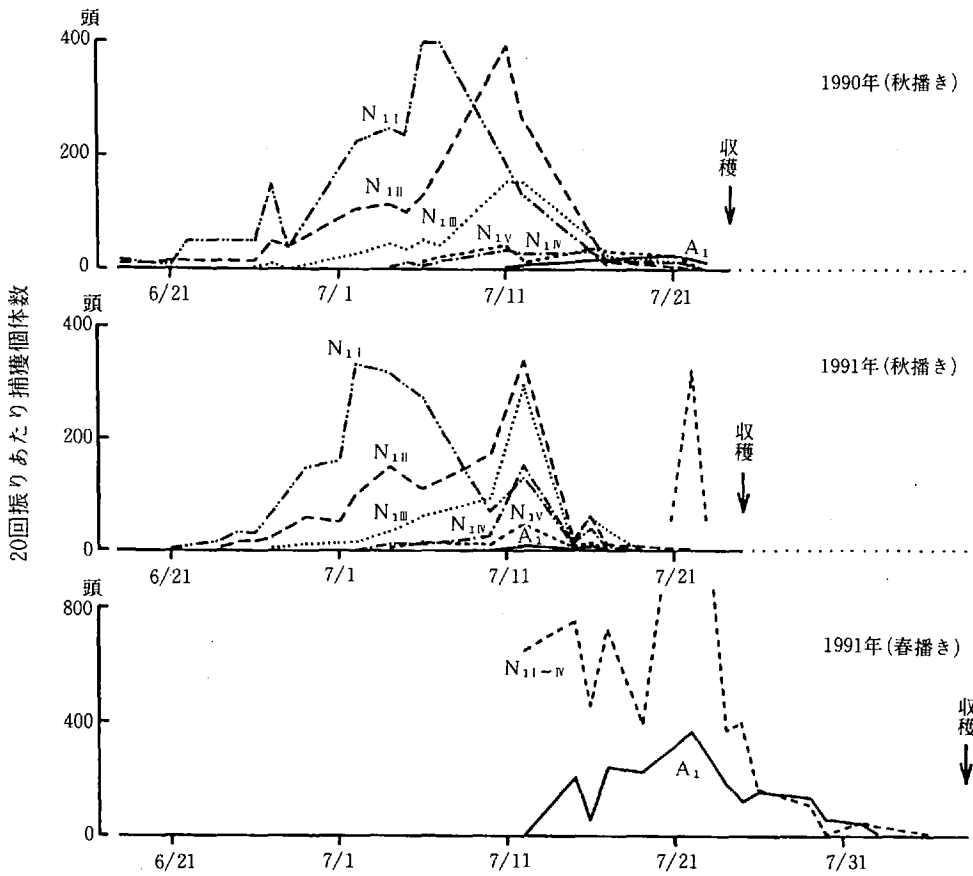


図7 コムギ畑における第1世代の幼虫数と成虫数の推移

注) 上川農試圃場においてすくい取り法で調査。N_{1I}~N_{1V}は第1世代の1~5齢幼虫, A₁は第1世代成虫を示す。

的不一致のため、秋にコムギ畑に飛来する成虫数はごくわずかであると考えられる。また、コムギの発芽期から冬期までは本種にとっての發育有効積算温度がわずかであるので、コムギ畑に飛来した成虫の次世代幼虫がそこで越冬することは考えられない。従って、春期に秋播きコムギ畑が越冬世代の発生源となることは通常はないと考えられる。

春播きコムギの場合は、冬期間裸地であった畑が5月に耕起されたあと播種され、発芽直後が越冬世代成虫の発生時期になるため、コムギ畑が越冬世代成虫の発生源となるとは考え難い。このように越冬世代においては、春播き秋播きともにコムギ畑と水田との関係はほとんどないと考えられる。

第2世代については、水田で幼虫が8月上旬に発生し始め、成虫が9月中旬まで発生する。一方、コムギの収穫期は秋播きが7月下旬、春播きが8月上旬であり、次作の秋播きコムギの播種期が9月上旬～下旬であるため、第2世代の発生時期はコムギの端境期に当たる。従って、コムギ畑で第2世代が発生することは考えられない。

残る第1世代については、気温が高く飛翔活動に好適な7月後半から8月前半が成虫の発生時期であり、またコムギ畑においてしばしば第1世代の成、幼虫の多発生が観察されるため、コムギ畑で発生した第1世代成虫が飛翔して水田に侵入する可能性は十分考えられる。そこで、1990、1991年にコムギ畑において本種の発生消長をすくい取り法によって調査した。

その結果(図7)、秋播きコムギ畑における第1世代幼虫の個体数は、兩年とも齢期が進むごとに急速に減少し、コムギの茎葉と穂が登熟にともなって褪色乾燥する7月10日頃から各齢ともほとんど発生が認められなくなり、第1世代成虫の個体数も極めて少なかった。一方、春播きコムギ畑においては、コムギの生育時期が秋播きコムギより10日以上遅く、第1世代成虫の羽化時期に至っても茎葉には緑色が残っており、コムギが枯熟する直前には多数の成虫が発生した。

コムギの生育期は最大で10日程度の年次変動しかないもので、以上のことから見て、一般にコムギ畑で発生した第1世代は、秋播きコムギ畑においては羽化以前に多くの個体が死亡するケースが多いが、春播きコムギ畑においては比較的高率で成虫になると考えられ、羽化成虫の一部はコムギの成熟とともに水田等の生息地に移動して

る可能性が高い。春播きコムギ畑では幼虫の発生個体数自体も秋播きコムギ畑より一般に多いので、春播きコムギ畑に近接している水田では、コムギ畑から飛来する第1世代成虫が少なくないものと考えられる。

第3節 考 察

ヒメトビウンカは、関東以西では年5～6世代の発生をし(末永・中塚, 1958; 岸本, 1966; 岡本ら, 1967)、イネの移植前および収穫後はコムギなどのイネ科植物を寄主として発生しており(奥山ら, 1965; 岡本ら, 1967; 三田, 1966)、その発生動態は複雑である。一方、北海道においては本種は年3世代の発生とされ(梶野, 1992)、さらに正確には本章で示したように年2世代と3世代の混合であり、年間発生世代数は本州以南より少ない。そのうえ北海道においては、イネの収穫期から翌春の移植期にかけては本種の越冬期であり、この時期に新たな世代の発生はない。また、水田とそれ以外の生息場所との間の移動は、春期における畦畔から水田への越冬世代成虫の移動、夏期におけるコムギの登熟に伴うコムギ畑から水田への第1世代成虫の移動および秋期における水田から畦畔への越冬世代幼虫の移動が主なものである。このように北海道では、水田における本種の発生動態は移動の点からも比較的単純である。加えて、本種の水田内における増殖の過程は、本章で示したように後の世代になるほど密度が高まるとともに密度の年次変動も増大してゆくものであり、トビイロウンカ *Nilaparvata lugens* (Stål)、セジロウンカ *Sogatella furcifera* (Horváth) およびツマグロヨコバイ *Nephotettix cincticeps* (Uhler) で知られる、密度に依存した密度調整過程(久野, 1968; 法橋, 1972)が認められない。また、春期の越冬世代が水田への侵入世代であり、水田への侵入時期が本州以南におけるより斉一であることや、イネの作型が単一であるためイネの生育が斉一であることなどからも、北海道における本種の発生動態は比較的単純であるとみなすことができる。

以上のことから、本種の発生動態は、有効温度による生長と増殖の繰り返しの基本構造に畦畔やコムギ畑からの移動や秋期の休眠などを組み入れた個体群動態モデルによって解析し、記述することが可能である。従って、以下の章においてこのモデルを作成し、年間の発生消長や防除効果のシミュレーションを行った。

第3章 個体群変動要因の数量化

第1節 無防除条件下の個体群変動要因の数量化

第1項 ヒメトビウカの生長および産卵に関するパラメータ

(1) 卵および幼虫の発育有効積算温度

1) 方法

ヒメトビウカの発育日数、発育零点および発育有効積算温度については、平野 (1942)、山元・末永 (1956)、福島ら (1969) などの報告があり、また野田 (1989) は近年の数理解析的手法にも対応できる詳細な報告をし

た。本研究では、野田 (1989) の報告より温度範囲を広げて卵と幼虫の発育実験を行った。供試個体は、1989年10月に旭川市永山の畦畔で採集した越冬幼虫を飼育して得た次世代の卵と幼虫とした。飼育は芽出しイネを数本入れた試験管を用いて行い、日長は長日条件とし、発育実験の開始直前まで約20℃に置いた。卵期間調査用の卵は産下された日から、幼虫期間調査用の幼虫は孵化日から、それぞれ所定の温度に置き、毎日孵化または脱皮の有無を調査した。

2) 結果

各飼育温度における発育日数を表3に示した。高温に

表3 卵および幼虫の発育日数

温度(℃)	卵		雌 幼 虫		雄 幼 虫	
	個体数	発育日数	個体数	発育日数	個体数	発育日数
15	315	23.6±1.9	42	52.1±3.0	44	51.6±5.9
20	171	12.4±1.5	41	23.5±1.6	44	22.9±1.1
25	271	7.6±0.8	21	14.9±1.3	36	14.3±1.2
30	187	6.7±2.1	26	13.2±1.3	39	12.0±1.5
32.5	230	6.2±1.7	18	15.8±2.2	48	14.3±2.0

注) 発育日数は、平均値±標準偏差を示す。飼育途中で死亡した個体は除いた。幼虫は、長翅型成虫になった個体のみを調査対象とした。

よる悪影響が現れた30℃以上の場合を除いた発育日数から導かれた発育零点は、卵が10.5℃、雌幼虫が11.0℃、雄幼虫が11.2℃であったので、今後の計算が容易になるようモデル内の設定は単純化し、全発育段階の発育零点を11.0℃とした。さらに、これをもとに卵の産下からの発育有効積算温度を孵化110.0日度、2齢化150.5日度、3齢化183.1日度、4齢化218.6日度、5齢化258.3日度、雌羽化320.0日度および雄羽化314.2日度と計算した。発育有効積算温度には、5齢期に雌雄差があること以外に個体変異はないものとした。

発育速度 (すなわち発育日数の逆数) と温度との関係を齢期ごとに図8に示した。好適な範囲を超えた高温時に起こる発育速度の促進程度の低下は、25.0℃では起こらず、32.5℃では孵化から2齢化までの約2日間、30.0℃では孵化から3齢化までの約4日間は起こらなかった。野外において日平均気温が25℃を超える日は北海道では年間数日しかなく、通常は高温による発育速度の促進低下は起こらないと判断されるので、モデル内では、温度と発育速度との関係は15.0~25.0℃で示されたような発育

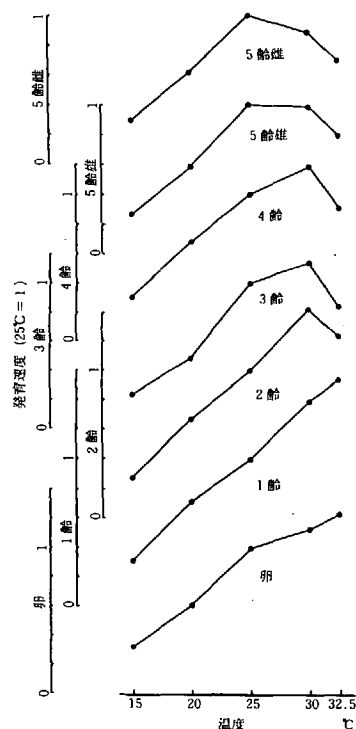


図8 卵および各齢幼虫の発育速度

注) 発育速度は25℃を1とし、これと対比して示した。

有効積算温度の法則に従う直線関係になるものとした。

なお、モデル内では、卵と幼虫に生理的な死亡はないものとし、卵と幼虫の死亡は後述する寄生や捕食等の外的な要因による死亡のみとした。

(2) 成虫の生理的寿命

1) 方法

野外における成虫の実際の寿命、すなわち成虫の生態的寿命は、生理的寿命に捕食等の外的な死亡要因が加わったものとみなし、まず生理的寿命について飼育実験を行った。

1989年5月11日に旭川市永山および同市西神楽の畦畔で採集した越冬世代幼虫(主に5齢)、同年7月19日に上川郡美瑛町の水田で採集した第1世代幼虫(主に4, 5齢)および同年8月17日に旭川市永山の水田で採集した第2世代幼虫(主に5齢)を供試虫とし、これを芽出

し、レイネ数本を入れた試験管に数頭ずつ入れて20℃前後の長日条件下で飼育し、羽化直後に試験管あたり雌雄2頭ずつに入れなおして所定の温度で飼育を続け、成虫の寿命を調査した。

2) 結果

調査結果を表4に示した。雄成虫の寿命は雌成虫とほぼ等しかったので、まず、モデル内の設定では雌雄の寿命は等しいとした。短翅型は第1および第2世代の雌に現れ、短翅型雌の寿命は長翅型雌とほぼ等しいかまたはやや短かったが、その差は第2世代の15.5℃において有意($P \leq 0.01$)であったほかは有意な差ではなかった。両翅型の寿命については従来の報告でも差は不明瞭であるとしているので(岸本, 1957)、モデル内では両翅型の寿命を区別せず、両翅型をまとめて扱った。

寿命は温度によって明瞭に異なり、低温で長く、高温

表4 恒温条件における成虫の寿命

世代	温度	寿命			
		長翅型	短翅型	全体	雄 長翅型
A ₀	21.0 ± 1℃	41.2 ± 19.4 (52)	-	41.2 ± 19.4 (52)	45.0 ± 21.1 (52)
A ₁	15.5 ± 1℃	50前後* (8)	50前後* (13)	50前後* (21)	50前後* (21)
	21.0 ± 1℃	23.9 ± 9.7 (8)	24.4 ± 11.3 (16)	24.2 ± 10.6 (24)	24.4 ± 16.6 (23)
	27.0 ± 1℃	23.9 ± 12.1 (8)	20.6 ± 8.5 (14)	21.8 ± 9.8 (22)	19.4 ± 10.4 (21)
A ₂	15.5 ± 1℃	69.0 ± 16.5 (28)	48.8 ± 12.0 (5)	65.9 ± 17.4 (33)	65.5 ± 23.1 (29)
	21.0 ± 1℃	32.8 ± 13.6 (27)	30.8 ± 11.3 (10)	32.2 ± 12.9 (37)	32.0 ± 18.6 (36)
	27.0 ± 1℃	27.8 ± 12.4 (23)	20.4 ± 8.6 (11)	25.4 ± 11.7 (34)	25.8 ± 13.1 (29)

- 注) 1. A₀, A₁, A₂は、それぞれ越冬、第1, 第2世代の成虫を示す。
- 2. 寿命は平均値 ± 標準偏差, 単位は日, ()内は個体数を示す。
- 3. ※: 機械の故障で調査を中断した。
- 4. 越冬世代には短翅型が雄雌各1頭羽化したが、少数なので調査から除いた。

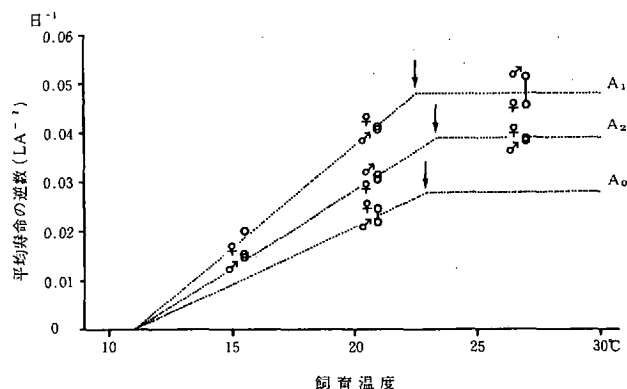


図9 成虫の平均寿命の逆数と温度との関係

注) A₀, A₁, A₂は、それぞれ越冬、第1, 第2世代の成虫を示す。

で短かった。また、同一温度で比較すると、寿命は世代によっても異なり、越冬世代が最も長く、第2世代がそれに次ぎ、第1世代が最も短かった。各世代の平均寿命と温度との関係は、卵および幼虫の発育日数における有効積算温度の法則に類似し、平均寿命は世代ごとに温度の関数とすることが可能であった(図9)。そこで、モデル内では、平均寿命(LA)の逆数と温度(T)との関係は、卵および幼虫の発育日数の逆数(発育速度)と温度との関係と同じ直線関係に単純化し、

$$LA^{-1} = \frac{1}{K} \cdot (T - T_0) \quad (\text{ただし, } T \geq T_0) \dots\dots(1)$$

$$LA^{-1} = 0 \quad (\text{ただし, } T < T_0) \dots\dots(2)$$

とし、発育零点に相当するT₀は卵および幼虫と同じ11.0℃、発育期間完了に要する有効積算温度に相当する

平均寿命の有効積算温度(K)は15.5℃と21℃の調査値から計算して越冬世代430日度、第1世代240日度、第2世代320日度とした。ただし、27℃における LA^{-1} の調査値は式(1)から求まる値より低く、高温域では寿命の短縮の程度が小さいので、 LA^{-1} の計算値が27℃における調査値と等しくなる時の温度(図9の矢印部:第1世代22.5℃、第2世代23.5℃、越冬世代はそれらの平均の23.0℃)以上では、 LA^{-1} は27℃における調査値と同じ一定の値とした。

モデル内では、成虫は毎日の気温に従って生長(老化とも言える)するよう設定し、生長の度合い(卵および幼虫の発育段階に相当)は羽化以降の毎日の有効温度($T - T_0$)の積算値(TA)で表した。ただし、どの個体も有効積算温度(TA)が一定値(K)に達した日に一斉に死亡するのではなく、同一日に羽化した個体群は、図11に示すように、TAの関数である生存曲線に従って順次死亡し、その平均寿命がKとなるよう設定した。

実験で得られた雌成虫の生存曲線を図10に示した。死亡は羽化直後から連続的に認められ、生存曲線は各世代ともゆるやかなS字カーブを描いていることから、ロジ

スティック式での近似が可能であった。そこで羽化成虫数に対する生存率(SD)を羽化からの有効積算温度(TA)の関数とし、実験値にあてはまる式を求めたところ、

$$SD = 1 / (1 + \exp(\frac{3.3}{K} \cdot (TA - K))) \quad \dots\dots(3)$$

で表すのが妥当であることが分かった(図11)。この式は、 $TA=0$ (羽化当日)の時、 $SD \approx 1$ (生存率ほぼ100%)となり、 $TA=K$ (羽化からの有効積算温度が成虫の平均寿命の有効積算温度と等しい)の時、 $SD=0.5$ (生存率50%)となる曲線であり、この式に従って生存した成虫個体群の平均寿命は有効積算温度で表すとほぼKとなる。また、この式に用いる成虫の生長(老化)の度合いは有効積算温度で表されていることから、野外の変温条件下でも積算温度から生存率(SD)を求めることが可能である。

羽化*i*-1日後の生存率に対する羽化*i*日後の期間生存率は SD_i / SD_{i-1} である。モデル内では、羽化*i*日後の生存個体数 N_i は*i*-1日の個体数 N_{i-1} と*i*-1日に対する期間生存率をもとに、次式によって求めた。

$$N_i = N_{i-1} \cdot (SD_i / SD_{i-1}) \quad \dots\dots(4)$$

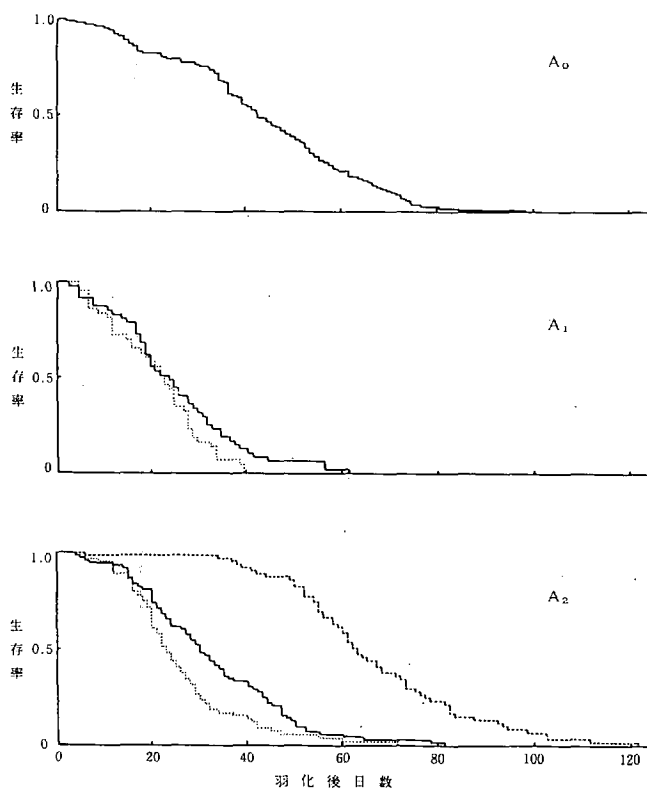


図10 恒温条件における雌成虫の生存曲線

注) ---: 15.5±1.0℃, —: 21.0±1.0℃, ···: 27.0±1.0℃

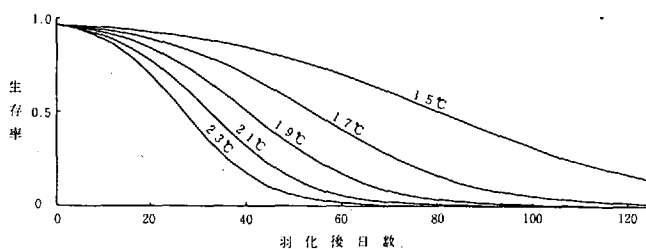


図11 成虫の生存曲線にあてはめたロジスティック式(第2世代成虫)

なお、飼育実験では、羽化失敗で死亡する個体が常に数%程度あったが、これまで述べた寿命の調査ではこれらは無視した。野外での羽化成功率は把握し難いので、モデル内では(3)式の羽化当日($TA=0$)の生存率($SD=0.964$)を羽化成功率に相当するものとした。

(3) 成虫日齢と産卵数の関係

1) 方法

前項に示した成虫の寿命調査のうち越冬世代成虫の21℃での飼育について、芽出しイネを3日毎に交換し、供試し終わったイネを分解して産卵数を調査した。

2) 結果

3日間の産卵数より1雌1日あたりの産卵数を求め、

その推移を図12に示した。一部の個体は羽化後3～6日目に産卵を開始し、6日目までに少数の産卵があったが、ほとんどの個体は6～9日目に産卵を開始した。日あたり産卵数は、産卵開始後ほぼ一定の値を維持したのち40日目ころから徐々に減少した。

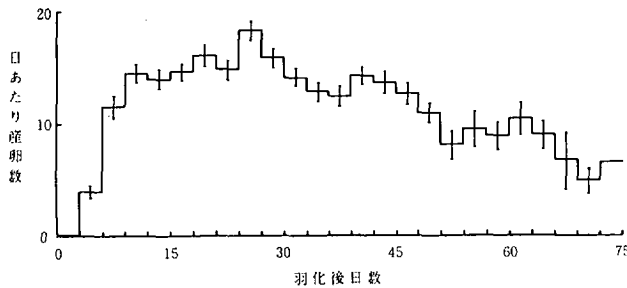


図12 恒温条件における成虫の日齢と日あたり産卵数の関係

注) 越冬世代成虫を $21.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 、長日条件で飼育した。縦棒の区間は、平均±標準偏差。

そこでモデル内では、越冬世代成虫の産卵前期間は60日度 (21°C で6日に相当) とし、第1および第2世代成虫の産卵前期間は、世代による寿命の差異を考慮して40日度とした。岸本 (1957) は、飼育条件下での1雌の総産卵数と成虫寿命とは明瞭な正の相関があるとし、各雌の日あたり産卵数は一定であることを示唆している。さらに、野外においては捕食等で死亡する個体があって生理的寿命を全うする個体は少ないと考えられるので、実験的に得られた産卵期間後期の日あたり産卵数の漸減はほとんど無視できると思われる。従って、モデル内の設定では、産卵開始後の日あたり産卵数は日齢によっては変化しないものとし、日あたり産卵数は次項に示す気温にのみ依存するものとした。

(4) 気温と産卵数の関係

1) 方法

雌成虫の水田における日あたり産卵数を世代別、温度別に明らかにするため、水田のイネに以下に述べるケージを設置して雌成虫を放飼し、毎日の産卵数を調査した。放飼は夕方6時を起点とする24時間を1回の調査単位とし、越冬世代については、1990年の5月31日～6月5日、6月14～19日および6月21～25日の計17日、第1および第2世代は1989年の8月1～6日、8月19～22日、8月30日～9月2日および9月8～10日の計17日にわたって、それぞれ放飼と回収調査を行った。

越冬世代の放飼は、直径6cmで高さが水面上約20cmになる透明アクリル製の円筒の側面の一部と上面にナイロンメッシュ布を張ったものをケージとし、これをイネ株

にかぶせて1株に2頭ずつ放ち、1回の放飼に各6～8反復を設けて調べた。第1、第2世代の放飼は、直径5cmで長さ2cmのリング状の透明アクリル製円筒の片面にナイロンメッシュ布を張り、これを2個合わせてリーフケージ状のケージとし、出穂茎の止葉基部にこのケージを取付けて1茎に1頭ずつ放ち、1回の放飼に各9～11反復を設けて調べた。

供試成虫は長翅型雌とし、放飼の直前に付近の水田で採集した個体を直ちに供試した。供試個体の一部は連続して使用したが、同一個体の連続供試は最長で5日間までとした。なお、供試中に産卵がなかった個体は、未交尾または産卵前期間にあるとみなして、調査結果から除いた。

放飼中は、越冬世代については水田の水面上約1.1mの1時間ごとの気温、第1、第2世代については水田横の百葉箱で日最高気温と日最低気温を測定した。

放飼24時間後の回収時に、越冬世代は放飼株を掘り取り、第1、第2世代は放飼茎を切り取って、水を少量入れた試験管等の容器に入れて約 20°C の恒温条件に置き、毎日観察して孵化する幼虫数を調べた。

近年、イネはウンカ類に対する生体防御反応として産卵部位に液浸化を起してウンカの卵を死亡させる性質があることが明らかにされ (Suzuki et al., 1996)、ヒメトビウンカに対しても低い死亡率ながらこの反応が認められている (鈴木, 1996)。イネの生体防御反応による本種の卵の死亡率は十分解明されていないが、本モデルでは孵化する卵数が明らかにされればよいので、この調査では、孵化しなかった卵は産卵数には含めず、実際の産卵数に孵化成功率を乗じた数である孵化幼虫数を産卵数として扱った。

2) 結果

日あたり産卵数は気温の影響を受け、高温で多く低温で少ない結果となった。気温と日あたり産卵数との関係は世代によって異なり、越冬世代はゆるやかな直線関係、第1、第2世代は2次関数として表せる関係となった (図13, 14)。

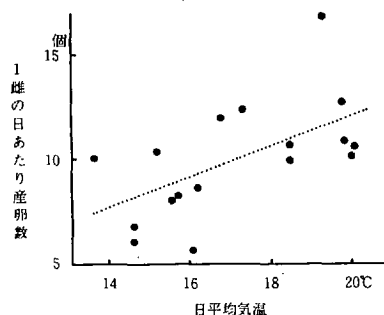


図13 気温と日あたり産卵数の関係 (越冬世代成虫)

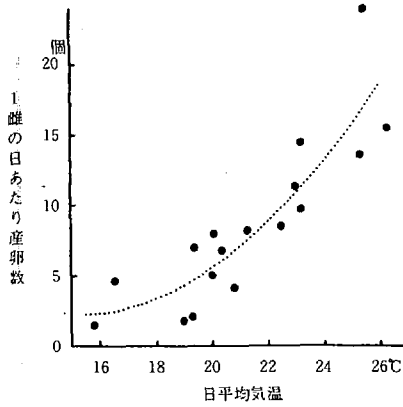


図14 気温と日あたり産卵数の関係 (第1, 第2世代成虫)

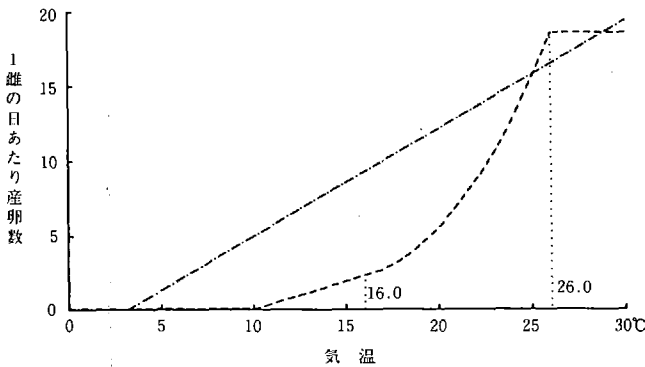


図15 モデル内で設定した気温と産卵数との関係

注) -----: 越冬世代, ———: 第1, 第2世代。

この結果をもとに回帰式を求め、モデル内での日平均気温 (TM) と1雌の日あたり産卵数 (ED) との関係を越冬世代

$$ED=0 \quad (TM < 3.15) \quad \dots\dots(5)$$

$$ED = -2.26 + 0.718 \cdot TM \quad (TM \geq 3.15) \quad \dots\dots(6)$$

第1, 第2世代

$$ED=0 \quad (TM < 10.0) \quad \dots\dots(7)$$

$$ED = -3.883 + 0.3883 \cdot TM \quad (10 \leq TM < 16) \quad \dots\dots(8)$$

$$ED = 32.74 - 4.067 \cdot TM + 0.1354 \cdot TM^2 \quad (16 \leq TM < 26) \quad \dots\dots(9)$$

$$ED = 18.53 \quad (TM > 26) \quad \dots\dots(10)$$

とした (図15)。

(5) 性 比

本種の性比は1:1であることが広く知られているので、性比は1:1とした。

(6) 翅型による諸形質の差異

本種には、雌雄ともに長翅型と短翅型がある。雄の短翅型は年間通してごく稀にしか認められないが、雌の短翅型は各世代に現れ、特に水田に生息する第1, 第2世代には短翅型の雌が高い頻度で出現する。昆虫の短翅型は一般に定着・増殖型であることが多いが、本種においては両翅型の成虫寿命や産卵数にほとんど差異がなく (岸本, 1957), また、水田に定着して生息している第1, 第2世代成虫においては、飛翔能力の有無は生態的意義が小さいと考えられる。従って、本モデルでは、翅型による生理・生態的差異は、各世代とも考慮しなかった。

翅型は各世代に現れ、特に水田に生息する第1, 第2世代には短翅型の雌が高い頻度で出現する。昆虫の短翅型は一般に定着・増殖型であることが多いが、本種においては両翅型の成虫寿命や産卵数にほとんど差異がなく (岸本, 1957), また、水田に定着して生息している第1, 第2世代成虫においては、飛翔能力の有無は生態的意義が小さいと考えられる。従って、本モデルでは、翅型による生理・生態的差異は、各世代とも考慮しなかった。

(7) 微生物場所の温度と気温との差

1) 目的および方法

本種が畦畔の地表面に近い草本等に生息する春期および秋期は、直射日光の当たった畦畔表面が触感で暖かく感じられ、輻射熱の影響で生息場所の微環境の温度が通常の方法で観測する気温より高いと考えられた。そこで、1990年の4~6月および10月に、旭川市永山の上川農試圃場において、通常的气象観測法に従って水田横の芝の上に設置した百葉箱で地上1.5mの気温を測定し、これと並行して畦畔の草本中における気温を測定して両者を比較し、通常的气象観測で得られる気温から生息場所である畦畔の温度を求める方法を検討した。なお、畦畔の草本中では1時間ごとの温度、百葉箱では日最高気温と日最低気温を測定し、百葉箱の気温については三角法 (坂神・是永, 1981) を用いて集計した。

2) 結 果

春期の生息場所の温度は、通常的气象観測法で観測される気温より高くなることが確認された。本種の11℃以上の発育有効積算温度を比較すると、畦畔の草本中の温度と百葉箱の気温との差は4月に最も大きく、5月の差はやや小さく、6月および10月はほぼ等しかった (図16)。百葉箱の気温に対して4月は2℃を加え、5月は1℃を

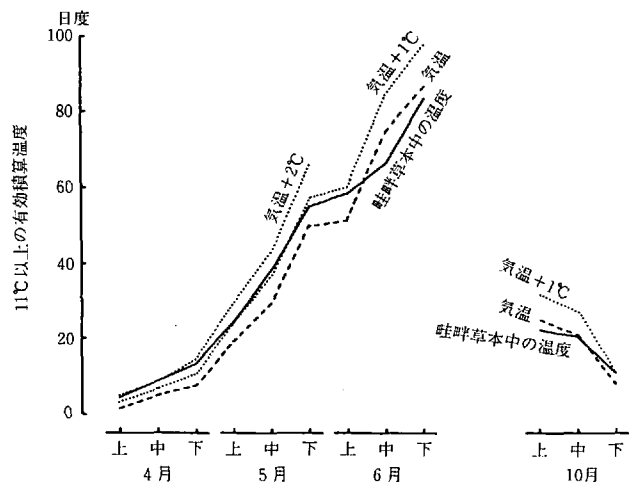


図16 春期および秋期における百葉箱の気温と畦畔の草中温度との比較

加えると両者の発育有効積算温度はほぼ等しくなったので、モデル内ではこの補正値を気温と本種の生息場所との温度差とみなし、気温を使って諸計算をする時は、最初に4月は+2℃、5月は+1℃を気温に加えるよう設定した。

(8) 生息地の温度と昆虫体温との差

生息地の温度と昆虫体温との差を考慮した補正として、本モデルでは全期間の気温に一律に+0.5℃を加えるよう設定した。

一般に昆虫は、変動する気温の中で体温をより適温に近づけるよう行動することがあり、観察報告の多い蝶類の例では、低温時に成虫が日光に当たる翅の面積を最大にしてとまったり、幼虫が日なたで静止して輻射熱を有効に活用しようとする行動が一般的に知られ(福田・高橋, 1988), また気温の高い時期に、黒色系アゲハ類が日中に体温を下げるため飛翔場所を変えること(Suzuki et al., 1985)なども知られている。生長や活動が抑制されたり停止させられるような著しい低温や高温を避けて、体温を適温に近づける行動をとった場合、結果として生長は気温から単純に計算される生長より早まることになる。

本種については、体温調整に関わる行動は未確認であり、また体温に関するデータもないが、実際の生長が生息場所の温度から計算される生長より早い可能性は否定できない。そこで本モデルでは、前項に述べた生息場所の温度を求めるための気温の補正のほかに、ひとまず上記の温度補正を行うよう設定し、作成したモデルの発生時期に関する適合性を見てから必要に応じこの設定の再検討をすることにした。

第2項 ヒメトビウンカの休眠に関するパラメータ

(1) 目的

本種は短日によって休眠が誘起され、3～4齢幼虫期に休眠することが知られており(三宅, 1932), この休眠幼虫が越冬幼虫となる。上川地方の個体群の休眠誘起の臨界日長は、幼虫の室内飼育実験により13時間30分前後であることが知られている(梶野, 1992)。上川地方において薄明、薄暮を各20～30分含む日長がこの値に達するのは9月10日頃である。この時期は第2章の図6に示したとおり、すでに休眠幼虫が多数現れている時期であり、実験による臨界日長と実際の休眠時期は必ずしも一致していない。この原因は、飼育実験が恒温と一定日長の条件で行われたためと考えられ、変温で日長が徐々に変化する野外における休眠誘起時期をこのような飼育実験から正確に知ることは困難であろう。そこで、実際に野外で飼育を行って、直接休眠幼虫の出現時期を調査

した。

(2) 方法

1991年に旭川市永山の上川農試圃場で調査した。8月2日から9月3日まで数日ごとに水田から約100頭の1, 2齢幼虫を採集し、水田横の網室の中で自然日長と野外気温のもとで飼育を行った。飼育は芽出しイネ数本を入れた試験管を使い、積雪の観測された10月21日まで飼育を続け、休眠個体率を調査した。孵化日は、採集時の齢期と採集日までの気温の経過から遡って計算した。

(3) 結果

7月末～8月上旬に孵化した個体の休眠率は30%以下であったが、孵化日が8月中旬に入ると休眠率は急上昇し、8月下旬に孵化した個体は全て休眠した(図17)。この結果をもとに、孵化日の暦日(DI)から孵化幼虫の休眠率(DR)を求める次の式を導き、

$$DR = 1 / (1 + \exp(61.115 - 0.45951 \cdot DI)) \quad \dots\dots(11)$$

(ただし、DIは4月1日からの通し日数)

この式をもってモデル内の休眠誘起を表す式とした。なお、この式は休眠率が8月1日1%, 8月11日50%, 8月21日99%となるロジスティック式である。

ただし、本種の休眠誘起日長には地理的変異があることが知られている(野田, 1990)。道南地方の亀田郡大野町産の個体について実験的に得られた休眠誘起の臨界日長は旭川市産の個体より長く、その差は休眠誘起日にして5日程度であるので(梶野, 1992), モデル内では道南地方における休眠誘起日をこの式より5日遅く設定にした。

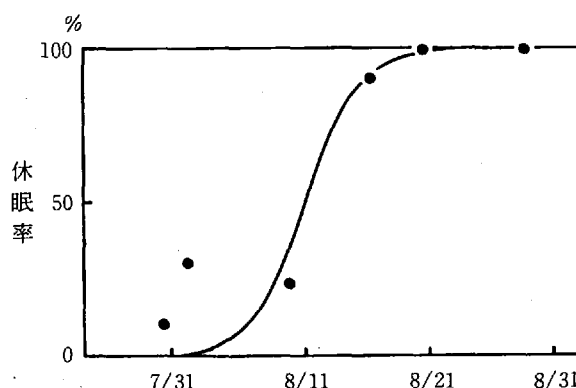


図17 野外における幼虫の孵化時期と休眠率

第3項 ヒメトビウンカの死亡に関するパラメータ

(1) 寄生性天敵による死亡

1) 方法

ウンカ・ヨコバイ類の寄生性天敵には、卵に対し膜翅目のホンハネコバチ科 Mymaridae とタマゴヤドリコバ

チ科 Trichogrammatidae, 幼虫および成虫に対し膜翅目のカマバチ科 Drynidae, 双翅目のアタマアブ科 Pipunculidae, 撚翅目のエダヒゲネジレバネ科 Elenchidae とクシヒゲネジレバネ科 Halictophagidae および線形動物のシヘンチュウ科 Mermithidae に属する種が古くから知られ (江崎・橋本, 1930, 1931, 1932; 江崎, 1932; 酒井, 1932, 1933; 橋本・鮫島, 1940), いずれも寄主を死亡させる捕食寄生性である。また, ウンカ・ヨコバイ類にはダニ目が外部寄生し, ヒメトビウンカにはタカラダニ類 Erythraeioidea の *Lycosa pseudoannulata* (Bösenberg et Strand) と *Oedothorax insecticeps* Bösenberg et Strand が記録されている (持田・岸本, 1970; 宇根, 1987)。外部寄生性のダニは, 寄主を移動のための運搬者として利用するのみで実害はないとの考え方もあるが, 寄主は寄生を受けると寿命が短くなり, 成虫になるまでに死亡するとの報告もある (Raatikainen, 1967)。そこで, これらの捕食寄生性天敵および外部寄生性ダニ類 (以下, タカラダニと記す) について, 次の方法で発生状況と寄生率を調査し, タカラダニについては併せてヒメトビウンカが寄生によって受ける影響も調査した。

①卵寄生蜂: 1989~1991年の3ヶ年, 旭川市とその近郊の6カ所の水田においていわゆる“おとり法” (Ôtake, 1967) で調査した。イネの出穂前の調査では, 水田のイネとほぼ同じ大きさに栽培したポット栽培のイネに雌成虫を放飼して3~4日間産卵させ, このイネを水田に数日間植え込んで寄生蜂の攻撃にさらしたのち掘り取り, 室内に置いて寄生蜂の羽化数とヒメトビウンカの孵化数を調べた。また, イネの出穂後の調査では, 水田のイネの穂軸と止葉の葉鞘に透明アクリル製の小型ケージを取り付けて雌成虫に3~5日間産卵させ, ケージをはずして数日間放置して寄生蜂の攻撃にさらしたあと産卵部位を切り取って, 室内に置いて寄生蜂の羽化数とヒメトビウンカの孵化数を調べた。供試数は1回の調査につき出穂前が4~15株, 出穂後が10~20茎とした。

②カマバチ, ネジレバネ, アタマアブ: 1989年に旭川市とその近郊の水田において各世代の幼虫を任意に採集し, 芽出しイネを入れた試験管を用いて成虫期まで飼育し, これらの天敵が寄生しているのが体外から観察されたり死亡後の解剖で天敵が寄生しているのが確認された個体数を調査した。

③シヘンチュウ: 寄生率は, 本州以南では夏期から秋期に高く, 長翅型個体より短翅型個体において高いとされる (今村, 1932; 久野, 1968)。そこで, 本道で最も寄生率が高いと予想される第2世代成虫について, 主に短翅型成虫を無作為に採集し, 解剖して寄生の有無を調

べた。調査は, 1989年9月に旭川市とその近郊の水田において行った。

④タカラダニ: 1989年から1991年まで, 各地で行ったヒメトビウンカの採集や発生調査のさい, タカラダニの寄生を受けた個体の有無を随時観察した。また, 1990年7月に旭川市永山の上川農試水田でタカラダニに寄生された幼虫が散見されたので, 7月12日に寄生個体と非寄生個体を23頭ずつ採集し, 芽出しイネを入れた試験管で, $20.0 \pm 1.0^\circ\text{C}$, 長日条件で飼育し, 幼虫の発育日数と羽化成虫の寿命および産卵数を調べ, 寄生の影響を調べた。

2) 結果

①卵寄生蜂: 卵寄生蜂の寄生は調査対象の全水田で認められ, ホソハネコバチ科のアカホソハネコバチ *Anagrus flaveolus* Waterhouse が多数羽化した。本種は単寄生蜂であるので, まずÔtake, (1967) に従って羽化した寄生蜂数 (WS) と孵化したヒメトビウンカ幼虫数 (PH) とから次式によって寄生率 (PR) を求めた。

$$PR = WS / (WS + PH) \quad \dots\dots(12)$$

ところで, この調査では水田に寄主卵を置いた期間が卵期間の一部であったため, その点でこの寄生率は過小推定の恐れがある。また, 水田に置いた日数も一定でないため, 調査ごとの寄生率の比較が難しい。そこで, 寄主卵を卵期間とおして水田に置いたと仮定した場合の補正寄生率 (PR') を推定した。すなわち, 寄生蜂の産卵は寄主卵のどの日齢でも一様に行われ, 非寄生寄主卵は卵期間中一定の比率で減少すると仮定し, 時間を寄主卵の発育有効積算温度で表すと, PRおよびPR'は次の式で表される。

$$PR = 1 - K^{TX} \quad \dots\dots(13)$$

$$PR' = 1 - K^{110} \quad \dots\dots(14)$$

ただし, TXは寄主卵を水田に置いた期間の発育有効積算温度, 110は本節第1項に示した卵期間全体の発育有効積算温度, Kは定数。

これらの式からKを消去すると次式が導かれる。

$$PR' = 1 - \exp(110 \cdot \ln(1 - PR) / TX) \quad \dots\dots(15)$$

この式に調査で得たTXとPRを代入してPR'を求めた。

その結果, 導かれた補正寄生率 (PR') は概して高く, 圃場間および年次間の差は明らかでなかったが, 季節による変化は明瞭であった。すなわち, 補正寄生率は移植後間もない6月上旬には0~17.8%と低く, その後急上昇して7月上旬には66.3~96.3%となり, 再び徐々に下降して8月末には3.2~34.1%となった (図18)。

トビイロウンカの卵寄生蜂 *Anagrus incarnatus* Haliday の寄生率は寄主卵密度に逆依存し, 卵塊が大きいほど低いことが知られており (Chantarasa-ard et al.,

1984), ヒメトビウンカにおいても寄生率は寄主卵密度と関係する可能性がある。また, Ôtake (1967) の寄生率算出法は, 捕食その他の原因による死亡卵における寄生率を計算に入れていないため, これらの死亡卵が多い場合は不正確である (Watanabe et al., 1992)。さらにまた, アカホソハネコバチの産卵率は寄主卵の卵期前半と後半とで異なることが知られているため (Ôtake, 1970), 供試寄主卵の日齢も寄生率に影響していると考えられる。このように, 本調査の補正寄生率はおおよその推定値に過ぎないが, 現時点では本種の卵寄生率の推定値として他に適当なものがないので, 本モデルではこの補正寄生率に基づいて寄生率を設定した。

補正寄生率は季節による変化が明瞭であったことから, モデル内の卵寄生率は時期によって異なるものとした。時期の表示を暦日から4月1日以降の本種の有効積算温度 (TI) に直して3年間を集計したところ, 補正寄生率 (PR') はTIの3次関数として近似が可能であっ

た (図19)。そこで, PR'に対するTIの3次回帰式,

$$PR' = 7.53 \cdot 10^{-1} \cdot TI - 1.12 \cdot 10^{-3} \cdot TI^2 + 4.586 \cdot 10^{-7} \cdot TI^3 - 64.2 \quad \dots (16)$$

($F=13.54$ ($P<0.01$), $R^2=0.537$) を導き, モデル内ではこの式をもって卵寄生率を求める関係式とした。

②カマバチ, ネジレバネ, アタマアブ: カマバチの一種であるクロハラカマバチ *Haplogonatopus atratus* Esaki et Hashimoto の寄生が散見されたが, 寄生率は低く, 寄生が認められた個体数は供試した全個体数の0~2.0%, 羽化10日後まで飼育した個体数に対する比率でも0~4.6%であった。ネジレバネとアタマアブの寄生は全く認められなかった (表5)。八谷ら (1988) による1979~1987年の北海道内各地の調査においても, カマバチの寄生は広く認められたものの, その寄生率は0~数%程度であった。従って, これらの天敵類は本種の有力な発生制御要因となっているとは考えられないので, 今回のモデルではこれらの寄生は無視できるものとした。

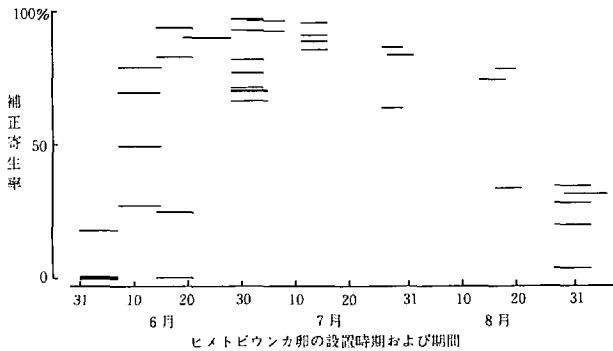


図18 卵寄生率とその季節による変化

注) 横線は, ヒメトビウンカの卵が寄生蜂の攻撃を受けた時期と期間, および補正寄生率を1回の調査ごとに示した。

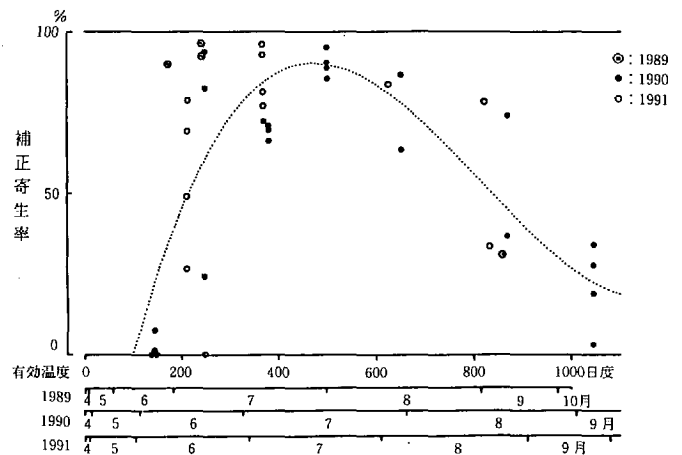


図19 有効積算温度と卵寄生率の関係

注) 前図で横棒で示した卵の設置期間は, その中間の時点を代表値として示した。

表5 幼虫の寄生性天敵の寄生率

世代	採集地	採集日	供試幼虫数	羽化後10日以上飼育した個体数	被寄生寄主個体数		
					カマバチ	ネジレバネ	アタマアブ
N ₀	旭川市永山A	4/12~14	28	23	0	0	0
〃	旭川市永山B	5/11	63	45	0	0	0
〃	旭川市西神楽	4/24, 5/11	440	207	0	0	0
〃	上川郡東神楽町	4/27	300	120	0	0	0
〃	上川郡美瑛町	4/21	403	272	7	0	0
〃	岩見沢市	4/21	200	87	4	0	0
N ₁	上川郡美瑛町	7/19	181	151	0	0	0
N ₂	旭川市永山	8/17	304	224	0	0	0

注) N₀~N₂は, 越冬~第2世代の幼虫を示す。

③シヘンチュウ：寄生は全く認められなかったので（表6）、今回のモデルではシヘンチュウの寄生は無視した。

④タカラダニ：タカラダニの寄生が観察されたケースは稀れで、寄生率は一般に低く、1990年7月に上川農試水田で20%前後の寄生率が観察されたが、これは極めて例外的なケースであった。この時の被寄生個体を採集し、タカラダニの寄生を受けたまま飼育した結果、寄主（ウンカ）の脱皮時などに寄主から離脱するタカラダニが相次ぎ、寄主の羽化6日後までに全てのタカラダニが寄主から離脱した。採集時に寄生を受けていた幼虫（以下、被寄生幼虫と略記）は寄生されていなかった幼虫より生長が遅く、羽化時までの死亡率も高かったが、供試した被寄生幼虫23頭中19頭は成虫に達した（表7）。被寄生幼虫から羽化した雌成虫の寿命は、寄生されていなかった雌成虫よりやや短く、産卵数もやや少なかったが、雄

成虫の寿命は被寄生幼虫から羽化した個体のほうがむしろ長かった（表8）。

これらのことから、タカラダニの寄生が本種に及ぼす影響は致命的ではなく、生長や増殖に及ぼす影響も不明瞭であることが明らかとなった。寄生率が低いことも併せて考えると、タカラダニは本種の発生制御要因としてはその効果がごく低いと考えられたので、本モデルではその効果は無視することにした。

(2) 捕食性天敵による死亡

捕食性天敵による本種の死亡は、本モデルでは極めて単純な形で表した。これまで、ウンカ類の捕食性天敵には、クモ類のほか半翅目、鞘翅目、膜翅目などの様々な昆虫類およびカエルなどの脊椎動物が知られており（小林, 1960）、特にクモ類は本種の有力な天敵となっていると考えられている（小林, 1961；Ito et al., 1962；久野, 1968；笹浪・川原, 1970；小林・柴田, 1973）。しかし、捕食性天敵は種類が多いうえ多くの種が広食性であるため、天敵としての役割の評価は、それらの複雑な発生生態と個体群動態が未解明であることもあって、容易ではない（Kiritani et al, 1972）。

このような背景から、本種の個体群動態と捕食性天敵類との関係に関して現段階で利用できる定量的データは全くないので、本モデルでは便法として両者の関係をできるだけ単純化し、捕食による本種の死亡率のみを単純な関係式で表してモデル内に組み込むことにした。また、その関係式の係数はモデルの計算結果が実測値に合うよう設定した。すなわち、まず、捕食による幼虫および成虫の日あたり死亡率（DD）は11℃以上の有効温度（TE）に比例し、次式に従うことにした。

$$DD = k \cdot TE \quad \dots\dots(17)$$

次に、この係数kに仮の値を与えておき、個体群動態に関する全パラメータを組み込んだ本モデルをいったん完成させた。さらに、水田内における越冬世代成虫から第1世代成虫への個体数の増加率に着目し、モデルの計算値と水田での実測値とが互いに近い値となるよう係数kを試行錯誤しながら入れ換え、最終的に次式を本モデルの捕食に関する関係式に決定した（図20）。

$$DD = 0.002 \cdot TE \quad \dots\dots(18)$$

なお、ウンカ類の卵に対してはカメムシ類の一種のみが捕食者として知られているが（Watanabe et al, 1992）、本研究の対象となった水田ではこのような捕食者の生息は観察されなかったため、本モデルでは捕食者による卵の死亡は無視した。

表6 成虫に対するシヘンチュウの寄生率

採集地	採集日	調査個体数	寄生個体数
旭川市永山	9/8	M♀204, B♀53, M♂294	0
旭川市西神楽	9/6	B♀22	0
上川郡美瑛町	9/6	B♀12	0

注) 1989年に第2世代成虫を調査、Mは短翅型、Bは長翅型を示す。

表7 タカラダニに寄生された幼虫の生長と死亡

寄生の有無	採集時の齢期	供試個体数	採集時からの発育所要日数			羽化までの死亡個体数
			4齢化	5齢化	羽化	
有	3齢	4	7.1	11.7	17.0	1
〃	4齢	1	-	9.0	15.0	0
〃	5齢	18	-	-	7.8±3.6*	3
無	3齢	3	1.0	5.5	8.7	0
〃	4齢	4	-	2.5	7.9	0
〃	5齢	16	-	-	3.5±1.7*	0

注) 1989年、旭川市永山で調査。20.0±1.0℃、長日条件。※：平均±標準偏差。

表8 幼虫期にタカラダニに寄生されていた個体の成虫寿命と産卵数

寄生の有無	成虫寿命		日あたり産卵数 (短翅型♀)
	短翅型♀	長翅型♂	
有	26.4±12.0(13)	56.4±6.0(5)	8.73±1.77(10)
無	34.5±8.7(10)	42.4±16.4(9)	10.59±1.16(10)

注) 飼育は20.0±1.0℃、長日条件。日あたり産卵数は、個体ごとに総産卵数÷寿命を求めて集計。数値は、平均±標準偏差、()内は調査個体数を示す。寿命の単位は日。

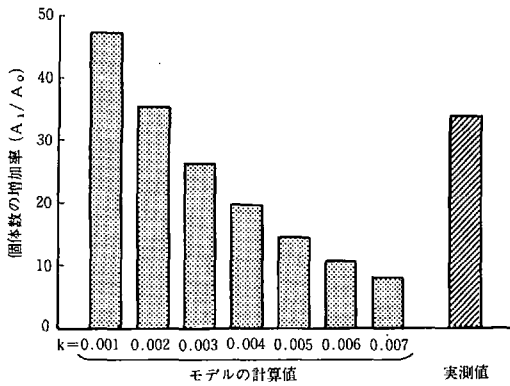


図20 個体数増加率を使った日あたり捕食率の係数設定

注) A_0 ：払い落とし法による越冬世代成虫の発生ピーク時の50株あたりの成虫数
 A_1 ：すくい取り法による第1世代成虫の発生ピーク時の20回振りあたり成虫数。
 計数値：気象条件は旭川市永山の平年値を使った。
 実測値：旭川市永山の上川農試水田の1985～87, 89～92年の平均値。

(3) 天敵微生物による死亡

ウンカ類の有力な天敵微生物として、*Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin, *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin などの糸状菌が知られているが(青木ら, 1987; 岡田, 1988), 本モデルでは以下の理由により糸状菌による死亡は無視した。

本研究において、各世代の幼虫を野外で採集して芽出しイネ入りの多湿な試験管の中で飼育した結果、採集時にすでに糸状菌に感染していたと思われる幼虫が数日ないし10数日後に発病して死亡するのがしばしば観察された。発病は春期に採集した越冬世代幼虫に最も多く観察され、ついで秋期に採集した越冬世代幼虫にも少数の発病が認められたが、イネが栽培される春期から秋期にかけて採集した幼虫にはほとんど発病が認められなかった。春期の越冬世代幼虫の発病率は越冬幼虫密度が高い時ほど多い傾向があり、20～30%の発病率となることもあったので、糸状菌は越冬期において密度に依存した発生制御要因となっている可能性がある。しかし、越冬期以外は発病率が低いので、春期から秋期までの発生予測を主目的とする本モデルでは、糸状菌による死亡は発生制御要因として無視できると考えられた。

(4) 天候に直接起因する死亡

本種の発生に影響を与える気象要因のうち、気温とは独立した要因として降雨がある。山田・足立(1971)は、人工降雨機を使った実験によって、降水量(PC, 単位mm)と4齢幼虫の死亡率(DP)との関係を表す次の式を導いた。

$$DP = PC / (302.5 + 0.013 \cdot PC) \quad \dots(19)$$

また、1～2齢幼虫の死亡率は、4齢幼虫の死亡率が43%の時、その約1.5倍の65%であったという。そこで、本

モデル内では、降雨による3齢以上の幼虫の日あたり死亡率(DP)と日降水量(PC)との関係は(19式に従い、1～2齢幼虫の日あたり死亡率は、(19式に従った死亡率の1.5倍と設定した。

なお、本モデルでは、風による死亡はないものとした。

(5) イネの水没による産卵抑制および孵化幼虫の死亡
 イネの水没による成虫の産卵抑制および孵化幼虫の死亡は、本モデルでは無視した。イネの組織内に産卵される本種の卵は、産卵されたイネの部位ごと水没しても死亡しないが、孵化時にその部位が水面下にあると、孵化幼虫が死亡する。また、水深が深く、産卵に適したイネの葉鞘部が水没していると、成虫の産卵が妨げられる可能性がある。従って、水田の水深およびその変化が産卵数や孵化時の死亡率に関係している可能性がある。水田の水深は地下浸透等による水田の減水速度や営農者の水管理の方法によって様々な変化をするものであり、本モデルで死亡率を設定するには、水深が産卵数や孵化幼虫の死亡に及ぼす影響を定量化したうえに、対象水田の水深の日々の変化も把握することが必要である。しかし、ここではそれに関するデータを欠くため、耕種的方法としてその重要性の評価は今後の問題となるが、水没による影響は無視せざるを得なかった。

第4項 ヒメトビウンカの移動に関するパラメータ

(1) 春期の越冬世代成虫の畦畔から水田への侵入

春期に畦畔で羽化した越冬世代成虫の水田への侵入率は、以下の方法で推定した。まず、4月下旬～5月上旬の畦畔の越冬幼虫数(NL:すくい取り法によって捕獲された20回振りあたり成虫数)と6月の水田の越冬世代成虫数(NA:払い落とし法によって計測された50株あたり成虫数)との関係は、旭川市とその近郊における1985～1991年の延べ23圃場のデータから計算した結果、おおよそ次式のとおりであった。

$$NA = 0.075 \cdot NL \quad \dots(20)$$

次に、第4章に述べるとおり、20回振りのすくい取り調査は畦畔13.3㎡に生息する幼虫の5%の個体を捕獲すること、50株の払い落とし調査は水田2.0㎡に生息する成虫の70%の個体を計測することに相当する。また、畦畔の面積は水田の正味面積の約10分の1である。これらから、式(20)をもとに4月下旬～5月上旬の畦畔に生息する越冬世代幼虫の総個体数(NL')と6月の水田に生息する越冬世代成虫の総個体数(NA')の関係を求めると、次式となった。

$$NA' = 0.35 \cdot NL' \quad \dots(21)$$

すなわち、4月下旬～5月上旬の畦畔の越冬世代幼虫1頭に対し、6月の水田には0.38頭の越冬世代成虫が生息する計算となった。

求める水田侵入率は、畦畔で羽化した越冬世代成虫数 (NA") に対するNA'の比率であるが、成虫は羽化後まもなく水田に侵入し始めるため、通常の発生密度調査でNA"を把握することは難しい。本モデルでは、上川農試の発生予察圃場における羽化直前までの発生消長をもとにNL'からNA"までの生存率を0.5、すなわち $NA" = 0.5 \cdot NL'$ とし、これによって(2)式から次式を導いた。

$$NA' = 0.7 \cdot NA" \quad \dots (2)$$

すなわち、水田侵入率は0.7、畦畔の羽化成虫の7割が水田に移動すると設定した。

ウンカ類の移動分散活動は羽化後7日目前後に活発である(末永, 1963)。いわゆる宙吊り飛翔法による実験においては、イネウンカ類3種の飛翔活動は羽化数日後にピークを持ち、ピーク後の飛翔活動低下は特に産卵開始後の雌において顕著である(大久保, 1981)。本研究における飼育中の観察でも、飛翔活動は羽化からその数日後までが活発で、その後は徐々に不活発となり、特に雌はこの傾向が明瞭であった。そこで、越冬世代成虫の水田への移動は、一律に産卵前期間終了時(雄ではそれに相当する日齢)に起こると設定した。なお、モデルではイネの移植日は5月20日に設定したので、5月20日以前に水田への移動日齢に達した成虫は移植日に移動するとした。

(2) 第1世代成虫のコムギ畑から水田への侵入

コムギ畑から水田への飛来侵入は、第2章で示したとおり第1世代成虫期に起こると考えられる。これまでの観察では、水田内に生息する第1世代の幼虫数と成虫数がほぼ等しく、飛来侵入した成虫数は水田内で羽化した成虫数より少ないと考えられる場合(例として第2章の図6)があった反面、第1世代幼虫数の倍以上の成虫数が観察され、多数の成虫が侵入したと考えられる場合も少なくなかった。水田へ侵入する成虫数は、発生源が春播きコムギか秋播きコムギかで異なるほか、コムギ畑での発生密度と短翅率、コムギ畑の面積や水田との距離、コムギの成熟程度、飛来時期の気象条件等々の影響を受け、変動要因が多様である。これらの要因を定量的に把握して成虫の飛来侵入を定式化することは困難であり、本モデルで利用できるデータもないため、上記の水田における観察をもとに、モデル内では水田へ侵入する第1世代成虫数を極めて単純化し、水田で羽化した成虫数と等しい成虫数が飛来すると設定した。

(3) 秋期の水田から畦畔への移動

イネは9月下旬から10月始めに収穫されることから、モデル内ではイネの収穫日を9月30日とし、秋期の水田から畦畔への幼虫の移動は収穫時に一斉に起こるとした。また、収穫と同時に卵は死滅し、成虫は飛散して消

失することとした。幼虫の畦畔への移動率は、1979~1991年の上川農試の発生予察圃場における実測値をもとに1齢幼虫3.3%、2~4齢幼虫10%、5齢幼虫0%とした。

第2節 薬剤防除に関する個体群変動要因の数量化

ヒメトビウンカに対する殺虫剤の施用法は、茎葉散布、水面施用、育苗箱施用および畦畔防除の4つがある(第2章第1節)。本節では、これらの殺虫剤施用による本種の卵、幼虫および成虫の死亡率を圃場試験等で推定し、本モデルの殺虫剤施用に関する個体群変動の設定を行った。殺虫剤施用が本種個体群に及ぼす影響は、直接の殺虫効果のほかに天敵相の変化等を通じた間接的かつ長期的な影響も想定されるが、本モデルでは直接の殺虫効果のみを対象にした。

本種の防除において使用される薬剤の種類は多いが、一括できる場合は一括して扱い、必要に応じて薬剤を有効成分に従って類別し、異なったパラメータを設定した。使用される薬剤の剤型は、水面施用と育苗箱施用では粒剤、畦畔防除では粉剤のみであるが、茎葉散布では乳剤、水和剤、粉剤等がある。しかし、実用化された薬剤において、防除効果はその剤型によって異なるとの知見はないので、本モデルでは剤型の違いは無視した。

本節以降で供試した薬剤は、全て本種に対し農業登録があるかまたは農業登録の見込みがある殺虫剤とし(薬剤名は表9)、施用量および濃度は、室内実験を除いて

表9 供試薬剤

薬剤名	有効成分		本報における略称
	一般名	系統	
スミチオン	MEP	有機燐	MEP
エルサン	PAP	〃	PAP
バイジット	MPP	〃	MPP
ダイシストン	エチルチオメトン	〃	ETM
オフナック	ピリダフェンチオン	〃	PRD
カルホス	イソキサチオン	〃	ISX
マラソン	マラソン	〃	MLT
サンサイド	PHC	カーバメート	PHC
バッサ	BPMC	〃	MPMC
デナボン	NAC	〃	NAC
オンコル	ベンフラカルブ	〃	OK
ツマサイド	MTMC	〃	MTMC
バダン	カルタップ	ネライストキシン	CTP
エビセクト	チオシクラム	〃	TCL
トレボン	エトフェンプロックス	ピレスロイド	ETF
未定	フルフェンプロックス	〃	PP
Mr.ジョーカー	シラフルオフェン	有機珪素	HOE
アプロード	ブプロフェジン	脱皮阻害剤	BPR
アドマイヤー	イミダクロプリド	クロロニコチニル	IM
殺菌剤	-	-	FNG

農薬登録および慣行防除の基準内とした。

第1項 殺虫剤の茎葉散布に関するパラメータ

(1) 殺虫剤の茎葉散布による卵の死亡の有無

1) 方法

本種の卵はイネの葉鞘や葉身の中肋の組織内に産付される。茎葉散布された薬剤が卵に直接触れることはほとんどなく、また茎葉散布される薬剤にはイネに浸透移行性があるとされるものはないので、茎葉散布による卵の死亡は無視できるほど低いと考えられるが、このことを確認するため、室内実験と圃場試験を行った。供試卵数はイネを分解しなければ数えることはできず、また死亡した卵数はイネを分解しても正確には数えられないことから、卵数に代えて孵化幼虫数を調査した。

i 室内実験

芽出しイネにケージをかぶせて雌成虫を2日間放飼して産卵させ、次にこのイネの茎葉部を薬剤の希釈液に数秒間浸漬したのち風乾させ、その後このイネから孵化する幼虫数を毎日調査した。供試成虫は旭川市近郊産の累代飼育個体、供試薬剤は5種類、1薬剤につき芽出しイネ4本ずつの5反復とし、20.0±1.0℃、長日条件で行った。

ii 圃場試験

1990年5月30日と1991年5月31日に、旭川市永山の上川農試水田のイネ株(品種：ゆきひかり、移植：5月21日)に透明アクリル製円筒をかぶせて雌成虫を放飼して産卵させ、両年とも6月4日に円筒と放飼成虫を取り除き、6種類の薬剤を茎葉散布した。散布2日後の6月6日に放飼株を掘り取って試験管に入れ、室内に置いて孵化幼虫数を毎日調査した。なお、供試成虫は室内実験と同じ累代飼育個体とし、1株に5頭ずつ放飼し、1薬剤3～5株について実験した。

表10 茎葉散布用薬剤を処理したイネからの孵化幼虫数

薬剤	希釈倍数	散布量	孵化幼虫数		
			室内実験	圃場試験	
				1990年	1991年
頭/株	頭/株	頭/株	頭/株		
PHC乳剤	500倍	100ℓ/10a	23.8	31.0	50.7
BPMC乳剤	1000倍	〃	13.6	—	62.0
MEP乳剤	〃	〃	28.0	28.3	101.7
ETF乳剤	2000倍	〃	—	35.3	48.3
PAP乳剤	1000倍	〃	36.6	—	—
BPMC乳剤	—	3kg/10a	—	—	44.3
ETF乳剤	—	〃	—	14.0	—
無処理	—	—	28.4	13.7	46.0

注) 散布量は圃場試験における量。室内実験におけるPHC乳剤の希釈倍数は1000倍。

2) 結果

孵化幼虫数は、室内実験と圃場試験のいずれにおいても薬剤間で異なった。しかし、同一薬剤について無処理と比較すると、孵化幼虫数は薬剤処理のほうが多い場合があり、処理区全ての数値が無処理より少なかった薬剤はなかった(表10)。従って、薬剤処理の有無に見られる孵化幼虫数の差は供試された卵数自体が異なっていたためと解釈され、いずれの薬剤も卵に対する殺虫効果はないかあってもわずかであると考えられた。このことから、殺虫剤の茎葉散布による卵の死亡は無視できる程度に少ないと考え、モデル内では殺虫剤の茎葉散布による卵の死亡率を0%とした。

(2) 殺虫剤の茎葉散布が成虫に及ぼす殺虫効果の持続性

1) 方法

モデル内で、殺虫剤の茎葉散布が持つ成虫や幼虫に対する殺虫力を経時的に減衰していくよう設定すべきかどうか知るため、茎葉散布による卵の死亡に関する(1)の2年間の圃場試験と並行して、同一水田で成虫に対する殺虫力の持続性を試験した。6月4日の薬剤散布直前に適当な個体数の成虫を水田に放ち、解放状態で薬剤散布を行ったあと直ちにイネ株に付いている個体数を数えて透明アクリル製円筒をイネ株に静かにかぶせ、成虫が散逸しないように上面をナイロンメッシュの布で蓋をして2日後に死亡率を調べた。また、同時に薬剤散布を行った別の株に、薬剤散布直後から数日間にわたって同様の円筒をかぶせて、薬剤に触れていない別の成虫を7～10頭ずつ放飼し、放飼2日後の死亡率を調べた。放飼成虫の由来と供試薬剤は(1)の試験と同じとし、1薬剤につき1株単位で3反復を行った。

2) 結果

散布前に成虫を放飼し、薬剤が虫体に直接散布された場合の死亡率は、77.8～100.0%と高かった。しかし、虫体に直接散布されない散布直後の放飼では、死亡率はこれより明らかに低かった。また、散布から放飼までの日数が長くなるほど死亡率は低下し、散布5日後まで降雨がほとんどなかった1990年は5日後の放飼で10～65%、散布後に降雨があった1991年は3日後の放飼で0～7.4%の死亡率となった(表11)。

死亡率は薬剤によっても異なったが、いずれの薬剤も殺虫力の持続期間が短いことが判明したので、本モデルでは茎葉散布による死亡は散布時にまとめて起こるものとし、散布後の侵入個体の死亡は無視できるものとした。

表11 殺虫剤の茎葉散布による成虫の死亡率の推移

薬 剤	放 飼 日 別 の 死 亡 率							
	1990年				1991年			
	直 前	2 日後	5 日後	9 日後	直 前	直 後	1 日後	3 日後
	%	%	%	%	%	%	%	%
PHC乳剤	100.0	41.3	15.0	0.4	100.0	87.9	10.7	0.0
BPMC乳剤	87.1	13.7	10.0	0.4	91.7	0.0	0.0	7.4
MEP乳剤	100.0	0	10.0	0	94.1	39.6	3.2	3.7
ETF乳剤	100.0	48.2	65.0	4.2	100.0	100.0	82.1	7.4
BPMC粉剤	—	—	—	—	77.8	11.5	15.0	4.2
ETF粉剤	100.0	58.6	40.0	0.4	—	—	—	—
無処理	0 (2.6)	0 (3.4)	0 (10.0)	0 (10.0)	0 (17.2)	0 (17.2)	0 (6.7)	0 (10.0)

注) 1. 希釈倍数および散布量は表10に示す。

2. 死亡率は、無処理の()内の実死亡率で補正した値。

3. 1990年は散布4日後に微雨、5日後以降連続して降雨があった。1991年は散布当日に夕立ちがあり、散布1、2日後にも降雨があった。ただし、降雨時にケージングされている株は雨に当たっていない。

(3) 殺虫剤の茎葉散布による成・幼虫の死亡率

1) 方 法

1989～1992年に上川農試および岩見沢市上幌向の中央農試において行った慣行的散布法による殺虫剤の防除効果査定試験のうち夏の多発生期に行われた6件の茎葉散布試験の計32の薬剤処理について、成虫数および幼虫数に対して次式に示す補正密度指数を求め、集計した。

$$\text{補正密度指数} = \frac{B}{A} \times \frac{D}{C} \times 100 \quad \dots\dots(23)$$

ただし、A：散布後の無処理区の個体数

B：散布後の処理区の個体数

C：散布前の処理区の個体数

D：散布前の無処理区の個体数

この補正密度指数は、散布後の無処理区に対する処理区の個体数の比を散布前の処理区と無処理区の個体数の比で補正したもので、防除効果が完全であれば0、防除効果がなければ100（負の防除効果であれば100以上）となるよう指数化したものである。また、薬剤の散布前と散布後の調査間隔が短く、その間の個体の移出入が無視できる程度に少ないこれらの試験においては、補正密度指数は薬剤散布による個体の生存率にも置き換えることが可能である。

また、この集計とは別に、上川農試水田（品種：ゆきひかり、出穂期：7月27日）において1990年8月21日と28日に各4種類の薬剤を茎葉散布し、その前後にすくい取り調査を行って、(23)式に従い各齢幼虫と成虫の補正密度指数を求めた。処理面積は1薬剤40m²とし、反復区は設けなかった。

2) 結 果

防除効果査定試験を集計した結果、成虫の補正密度指

数は薬剤によって大きく異なり、ETF、PP、HOEおよびIMを含む薬剤では0～11.7と低く、これらを含まないカーバメート系および有機燐系の薬剤では7.7～86.4と比較的高かった（表12）。この傾向は、1990年の上川農試における追加試験でも同様であった（表13）。また、補正密度指数は幼虫より成虫が高く、各齢幼虫の比較では若齢幼虫より老齢幼虫が高く、終齢幼虫は成虫とほぼ等しかった（表13）。

モデル内の生存率のパラメータを設定するため、薬剤の種類や本種の発育段階別の補正密度指数の変化パターンを類型化し、効果の高い薬剤の1回の茎葉散布における生存率は、1～5齢幼虫および成虫についてそれぞれ1、2、3、4、5、5%、効果の低い薬剤では同じく20、30、50、70、70、70%とした。今回の試験ではこれらの中間的な効果の薬剤はなかったが、効果の高い薬剤と低い薬剤とで差が大きく、今後中間的な効果の薬剤が現れることも考えられることから、中間的な効果の薬剤も設定し、生存率を同じく5、10、15、18、20、20%とした（図21）。

第2項 殺虫剤の水面施用に関するパラメータ

(1) 殺虫剤の水面施用による成虫の死亡率とその推移

1) 方 法

殺虫剤の水面施用は、越冬世代成虫の発生期である5月下旬から7月上旬に成虫を対象にして行われる。使用される薬剤にはイネに浸透移行する薬剤と浸透移行しない薬剤とがあり、浸透移行性薬剤は吸汁時に経口的に、非浸透移行性薬剤は水面に浮遊したり水際の茎葉に付着して経皮的に作用するとされている。そこで、これらの薬剤の水面施用による成虫の死亡率とその推移を知るた

表12 防除効果査定試験における殺虫剤の茎葉散布の防除効果（補正密度指数）

試験 番号	年次	場所	薬 剤	補正密度指数		散布日	発生調査日
				幼虫	成虫		
1	1989	上川	ETF乳剤	—	1.7	8/2	8/1,3
			ETF・FNG水和剤	—	2.2	〃	〃
			ETF・MTMC乳剤	—	11.7	〃	〃
			ISX・MTMC粉剤	—	22.5	〃	〃
			PAP・NAC水和剤	—	42.7	〃	〃
2	1990	上川	BPMC乳剤	—	7.7	7/23	7/23, 24
			PAP・NAC粉剤	—	81.8	〃	〃
3	1991	上川	ETF乳剤	—	0.5	7/29	7/29, 30
			ETF・MEP・FNG水和剤	—	4.2	〃	〃
			ETF・MEP・FNG粉剤	—	5.5	〃	〃
			ETF・PRD・FNG粉剤	—	2.1	〃	〃
			ETF・TCL粉剤	—	2.3	〃	〃
			HOE粉剤	—	0.0	〃	〃
			PP水和剤F	—	0.0	〃	〃
			PAP・NAC粉剤	—	86.4	〃	〃
4	〃	中央	ETF乳剤	0.5	0.0	8/5	8/2, 6
			ETF粉剤	0.0	0.0	〃	〃
			ETF・MEP乳剤	1.3	0.0	〃	〃
			HOE乳剤	0.3	3.1	〃	〃
			PP粉剤	0.3	0.0	〃	〃
5	1992	上川	ETF乳剤	0.0	—	8/11	8/11, 17
			HOE粉剤	0.0	—	〃	〃
			PP水和剤F	0.0	—	〃	〃
			PP・MEP・FNG粉剤	0.0	—	〃	〃
			IM・MPP・FNG粉剤	0.0	—	〃	〃
			IM粉剤	0.0	—	〃	〃
			HOE・FNG粉剤	0.0	—	〃	〃
			MPP粉剤	34.0	—	〃	〃
6	〃	中央	ETF乳剤	1.0	—	8/17	8/14, 18
			ETF水和剤F	1.5	—	〃	〃
			PP粉剤	0.3	—	〃	〃
			HOE水和剤F	1.1	—	〃	〃
集 計			ETF, HOE, PPを含む薬剤	0~1.5	0~11.7		
			IMを含む薬剤	0	—		
			カーバメート系を主剤とする薬剤	—	7.7~22.5		
			有機燐系を主剤とする薬剤	34.0	42.7~86.4		

注) 1. 2回以上散布した試験では1回目の散布の補正密度指数を示した。
 2. 無処理区の個体数が10頭以下の少発生条件における試験は含んでいない。
 3. 混合剤の薬剤名は、単剤の略称を列記して示した（以下の表においても同じ）。

表13 殺虫剤の茎葉散布における齢期別補正密度指数（上川農試，1990年）

散布日	薬 剤	希釈倍数	散布量	補正密度指数					
				1 齢	2 齢	3 齢	4 齢	5 齢	成虫 (♀, ♂)
8月21日	ETF粉剤	—	3 kg/10a	1.8	0.5	7.8	7.8	2.7	15.9 (18.4, 13.3)
	ETF乳剤	2000倍	100 ℓ/10a	0	0	1.1	3.7	0	6.1 (7.4, 5.0)
	BPMC乳剤	1000倍	〃	14.4	25.2	61.1	83.7	94.0	82.6 (77.1, 96.1)
	MEP乳剤	〃	〃	26.5	19.6	33.6	63.5	56.5	92.3 (93.7, 93.2)
	無処理	—	—	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0 (100.0, 100.0)
8月28日	ETF乳剤	2000倍	100 ℓ/10a	2.2	0.9	2.7	0	0.5	2.4 (1.9, 2.7)
	BPMC乳剤	1000倍	〃	7.6	20.6	40.0	52.8	95.0	41.3 (51.1, 33.3)
	MEP乳剤	〃	〃	45.5	28.4	85.0	128.0	98.0	100.4 (90.0, 113.0)
	MEP・BPMC乳剤	〃	〃	5.2	23.2	42.9	52.5	58.8	20.3 (18.2, 22.7)
	無処理	—	—	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0 (100.0, 100.0)

注) 補正密度指数算出のための発生調査日は、8月21日散布が8月21, 24日、8月28日散布が8月28, 29日。

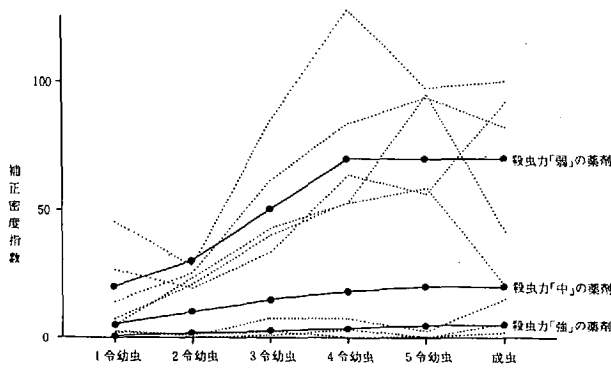


図21 殺虫剤の茎葉散布における齢期別生存率（補正密度指数）の類型化

注) 実線が本モデルの設定値，点線が表13の試験結果。

め、1990年5月29日に旭川市西神楽の水田（品種：ゆきひかり，移植：5月19日）において浸透移行性と非浸透移行性の代表的な殺虫剤を1薬剤ずつ水面施用し，施用2日後から1～2週間ごとにイネ株に透明アクリル製円筒をかぶせて成虫を放飼し，放飼5日後の死亡率を調べた。施用面積は1薬剤3.6aとし，反復は設けなかった。施用した薬剤が水田水とともに移動するのを防ぐため，施用した区画は波板と呼ばれるプラスチック板で仕切った。放飼成虫は旭川市近郊産の累代飼育個体とし，放飼は1株10頭ずつ3～4株に対して行った。

2) 結果

浸透移行性薬剤であるETM・PHC粒剤は即効性がなく，その死亡率は施用2日後の放飼では7.7%であったが，施用9日後の放飼では42.9%の最高値を示した。非浸透移行性薬剤であるETF粒剤は即効的で，施用2日後の放飼の死亡率は100%であったが，高い死亡率は持続せず，施用9日後の放飼は0%，同16日後は17.1%の死亡率となった（表14，図22）。

そこで，本モデルでは浸透移行性薬剤と非浸透移行性薬剤の効果を分け，前者については，5日間の死亡率を

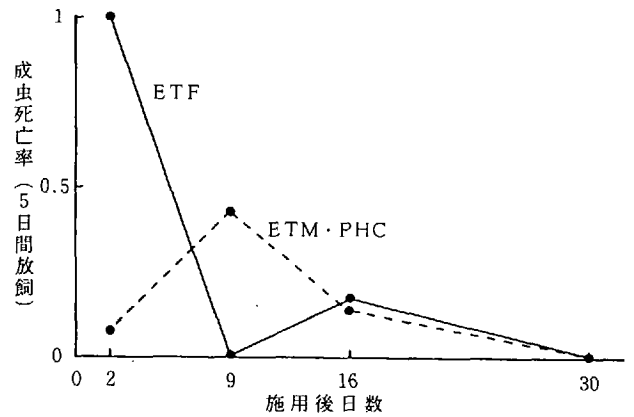


図22 殺虫剤を水面施用したイネでの成虫死亡率の推移

注) 具体的数値は表14に示す。

日あたり生存率(DS)に換算したのち，施用後日数(DT)から日あたり生存率を求める次の回帰式を設定した。

$$DS = 0.9794 - 0.00671 \cdot DT + 2.528 \cdot 10^{-4} \cdot DT^2 \dots (24)$$

後者については，死亡は施用時のみに起こるとし，生存率を1～10%に設定した。なお，殺虫剤を水面施用した時に幼虫がいる場合の幼虫の生存率は，これについてのデータがないことから，モデル内では成虫と同じ生存率とした。

(2) 殺虫剤の水面施用における産卵抑制効果の有無

1) 方法

浸透移行性薬剤を水面施用した場合，成虫の死亡率に関する(1)の試験において，成虫の日あたり死亡率は比較的低く，また殺虫力はある程度の期間にわたって持続したことから，成虫が生存しても成虫の産卵は抑制された可能性がある。また，薬剤はイネに浸透移行することから，イネの組織内の卵が薬剤の影響で死亡した可能性も否定できない。そこで，これらの現象の有無を知るため，(1)の試験において，浸透移行性薬剤の施用2日後と同9日後の放飼株を放飼5日後の死亡率調査時に掘り取って

表14 殺虫剤の水面施用による成虫の死亡率の推移

薬 剤	散布量	放飼日毎の成虫死亡率			
		施用2日後	施用9日後	施用16日後	施用30日後
		%	%	%	%
ETF粒剤	4kg/10a	100.0	0	17.1	0
ETM・PHC粒剤	3kg/10a	7.7	42.9	13.7	0
無処理	—	0	0	0	0
		(2.5)	(8.3)	(3.5)	(51.7)

注) ()内は無処理の実死亡率。薬剤処理および無処理の死亡率は，この実死亡率で補正したうえで示した。

表15 殺虫剤を水面施用をしたイネにおける孵化幼虫数

薬 剤	孵 化 幼 虫 数			
	放飼雌 1 頭あたり		生存雌 1 頭日あたり	
	施用 2 日 後放飼	施用 16 日 後放飼	施用 2 日 後放飼	施用 16 日 後放飼
ETM・PHC粒剤	23.5 ^{ns}	9.2 ^{ns}	4.96 ^{ns}	2.01 ^{ns}
無処理	19.6	13.3	3.97	2.71

注) 1. 散布量は表14に示した。
 2. 生存雌あたりの孵化幼虫数は、放飼雌の5日間の日あたり死亡率を一定として延べ生存成虫数を求めたうえで計算した。
 3. 有意差検定は、株を反復の単位とした。nsはP>0.05。

試験管に入れ、室内に置いて孵化する幼虫数を毎日調査した。なお、この時の放飼成虫数は雌雄各5頭とした。

2) 結 果

放飼雌成虫1頭あたりの孵化幼虫数は、薬剤処理と無処理に有意差が認められなかった。また、放飼雌の5日間の日あたり生存率を一定として延べ生存雌成虫数を計算し、1頭1日あたりの孵化幼虫数を求めても有意差は認められず、施用2日後の放飼ではむしろ薬剤処理のほうが多い数値となった(表15)。従って、浸透移行性薬剤には成虫に対する産卵抑制効果や殺卵効果はないとみなせるので、本モデルにおいては、これらの効果は無視できるものとした。

第3項 殺虫剤の育苗箱施用に関するパラメータ

(1) 殺虫剤の育苗箱施用による成虫の死亡率の推移

1) 方 法

旭川市およびその近郊の水田で4件の試験を行った。慣行的方法で殺虫剤を育苗箱施用して移植したイネ株に7~15日毎に透明アクリル製円筒をかぶせて成虫を放飼し、放飼5日後の死亡率を調べた。イネは箱マット式中苗の機械移植とし、放飼成虫は旭川市近郊産の累代飼育個体とした。薬剤は以下の面積に処理し、放飼は毎回その中の3株について1株10頭ずつ行った。その他の試験方法は以下のとおりとした。

試験I：1990年、旭川市永山の上川農試水田、品種おんねもち、移植5月21日、出穂期7月23日、2薬剤、各2.0a。

試験II：1990年、旭川市西神楽の農家水田、品種ゆきひかり、移植5月19日、出穂期7月27日、3薬剤(うち1薬剤は2通りの処理)、各3.6a。

試験III：1991年、旭川市西神楽の農家水田、品種きらら397、移植5月13日、出穂期7月30日、4薬剤(うち1薬剤は2通りの処理)、各1.5~12.2a。

試験IV：1991年、上川郡美瑛町の農家水田、品種きらら

397、移植5月22日、出穂期7月30日、3薬剤、各2.5~20.4a。

2) 結 果

成虫の死亡率の推移は薬剤によって大きく異なり、以下の3つに類別された(図23)。

Aタイプ：効果は即効的で長く持続するもの

.....IM粒剤

Bタイプ：移植直後の効果は高いが、効果が持続しないもの

.....PHC粒剤, OK粒剤

Cタイプ：死亡率はごく低く、効果の持続性もないもの

.....ETM・TCL粒剤, CTP水溶剤

IM粒剤やPHC粒剤について試験間を比較すると、効果の持続期間は年次によって異なり、高温年には短く、低温年には長い傾向があった。そこで、移植日を起点として本種の発育有効温度である11℃以上の温度を積算

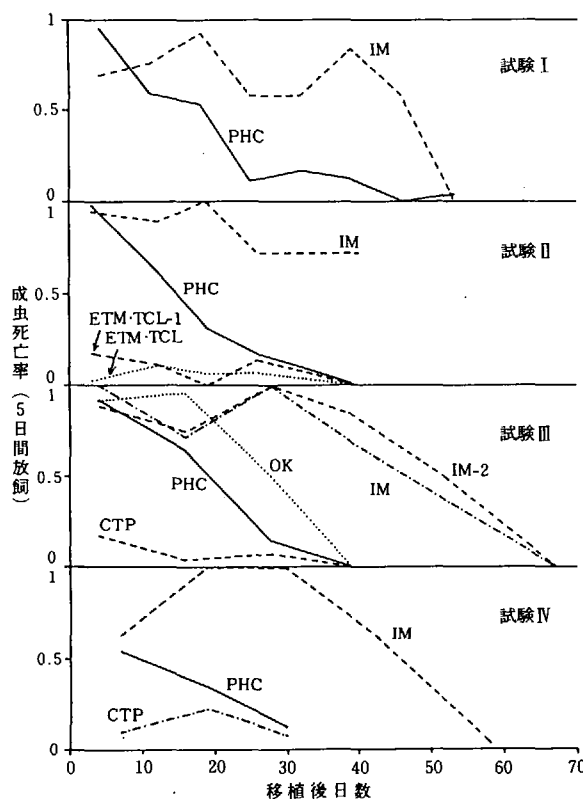


図23 殺虫剤を育苗箱施用したイネにおける成虫死亡率の推移

注) 薬剤の処理日は移植当日としたが、薬剤名の末尾に数字を付けた処理については、数字で示した日数分だけ移植日より前に薬剤を処理した。

し、この値を時間軸にとって死亡率をまとめ直したところ、3タイプの類別はさらに明瞭となった(図24)。この積算温度(TE)に対する5日間死亡率(DD₅)の2

次回帰式は、各タイプそれぞれ次のとおりであった(図24)。

Aタイプ： $DD_5 = 0.8029 + 1.4077 \cdot 10^{-3} \cdot TE - 7.2885 \cdot 10^{-6} \cdot TE^2$ (25)

Bタイプ： $DD_5 = 0.9535 - 6.5223 \cdot 10^{-3} \cdot TE + 1.0836 \cdot 10^{-5} \cdot TE^2$ (26)

Cタイプ： $DD_5 = 0.1001 + 2.4433 \cdot 10^{-4} \cdot TE - 2.5739 \cdot 10^{-6} \cdot TE^2$ (27)

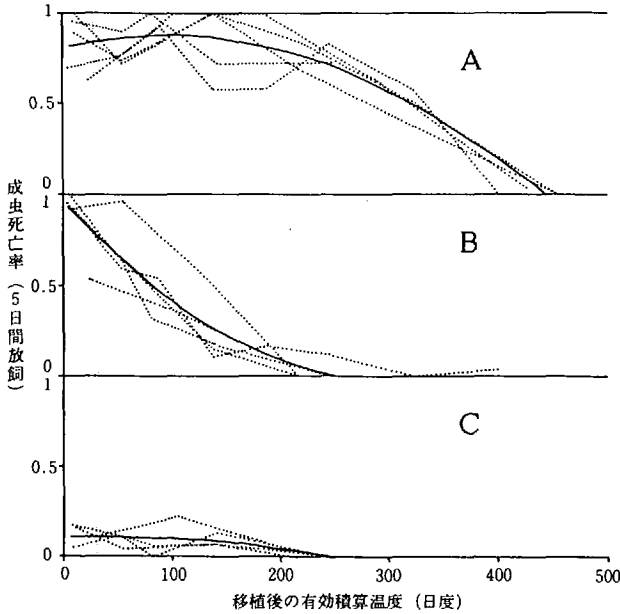


図24 3タイプの殺虫剤の育苗箱施用剤における成虫死亡率の推移

注) 点線は図23に示した試験結果, 実線はその回帰曲線, A, B, Cは殺虫剤のタイプを示す。

放飼した5日間の生存率は毎日一定であったとの前提に立つと、本モデルで使用する日あたり生存率(DS)は、5日間死亡率(DD₅)から次式によって求まる。

$$DS = \exp \left[\frac{\text{Log}(1 - DD_5)}{5} \right] \quad \dots\dots(28)$$

一方、観測された生存率は放飼期間が高温であるほど回帰式から求まる生存率より低い傾向があったので(図25)、日あたり生存率を求める(28)式に放飼期間の気温による補正を加え、次式によって求まる気温補正した日あたり生存率(DS')を本モデルでは使うことにした。

$$DS' = \exp \left[\frac{\text{Log}(1 - DD_5)}{5} \times \frac{TD}{TV} \right] \quad \dots\dots(29)$$

(TD: 日平均気温, TV: 日平均気温の平年値)

個々の日あたり生存率は、(25)~(27)式と(29)式を使うことにより、移植日からその日までの有効積算温度(TE)とその日の平均気温の平年比(TD/TV)とから殺虫剤のタイプ別に求まるので(図26)、本モデルではこの値

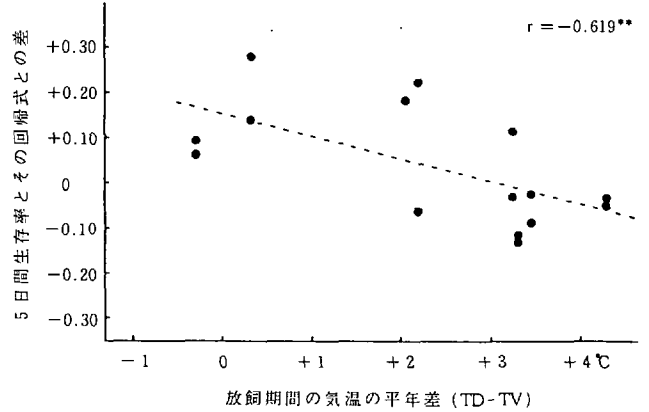


図25 放飼期間の気温と成虫生存率の相関関係(殺虫剤育苗箱施用試験I)

を殺虫剤の育苗箱施用をした水田における成虫の生存率とした。なお、幼虫の生存率についてはデータがないことから、モデル内の幼虫の生存率は成虫と同じとした。

(2) 殺虫剤の育苗箱施用における産卵抑制効果の有無

1) 方法

第2項(2)において殺虫剤の水面施用における産卵抑制効果の有無を検討した時と同様の理由から、育苗箱施用においても産卵抑制効果の有無を調べた。本項(1)の成虫の死亡率試験において、試験Iの移植4, 18, 32日後放飼、

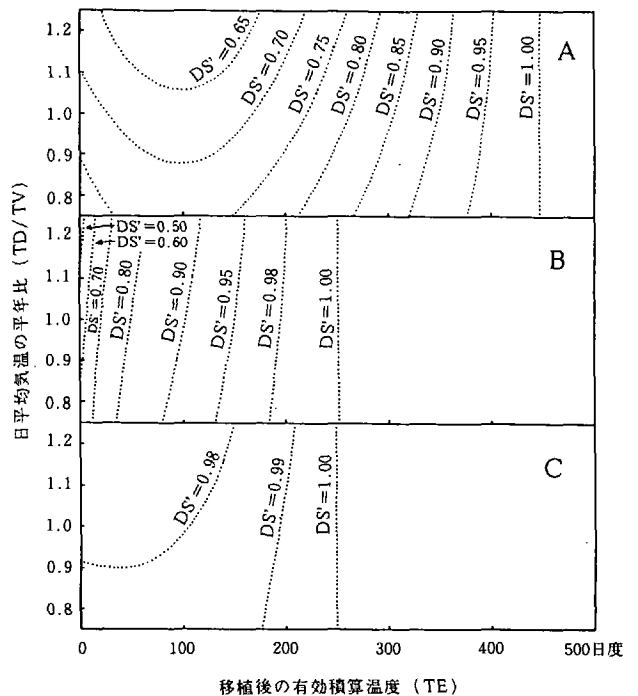


図26 移植後の有効積算温度(TE)とその日の平均気温の平年比(TD/TV)とから求めたその日の成虫生存率(DS')

注) 殺虫剤を育苗箱施用した水田における本モデルの設定を示す。A, B, Cは殺虫剤のタイプ。

試験Ⅱの移植12, 26日後放飼, 試験Ⅲの移植28日後放飼について, 放飼5日後の死亡率が0.4~0.9の範囲内であった処理の放飼株を掘り取って試験管に入れ, 室内に置いて孵化する幼虫数を調査した。なお, この時の放飼成虫は雌雄各5頭とした。

2) 結 果

放飼雌成虫1頭あたりの孵化幼虫数は, 薬剤処理と無処理に有意差がなかった。また, 放飼雌の5日間の日あたり死亡率を一定として延べ生存成虫数を計算し, 1頭1日あたりの孵化幼虫数を求めても有意差は認められ

表16 殺虫剤を育苗箱施用したイネにおける孵化幼虫数

薬 剤	放飼5日後の成虫生存率		孵 化 幼 虫 数			
			放飼雌1頭あたり		生存雌1頭あたり	
試験Ⅰ	移植18日 後放飼	移植32日 後放飼	移植18日 後放飼	移植32日 後放飼	移植18日 後放飼	移植32日 後放飼
PHC粒剤	0.40(0.46)	0.80(0.83)	17.3 ^{ns}	12.3 ^{ns}	5.3 ^{ns}	2.8 ^{ns}
無処理	0.87(1.00)	0.97(1.00)	19.8	8.5	4.3	1.7
試験Ⅱ	移植12日 後放飼	移植26日 後放飼	移植12日 後放飼	移植26日 後放飼	移植12日 後放飼	移植26日 後放飼
PHC粒剤	—	0.80(0.83)	—	6.7 ^{ns}	0.2 ^{ns}	1.5 ^{ns}
ETM・TCL粒剤	0.87(0.89)	0.90(0.93)	8.4 ^{ns}	4.3 ^{ns}	1.8 ^{ns}	0.9 ^{ns}
ETM・TCL粒剤-1	0.87(0.89)	0.83(0.86)	14.2 ^{ns}	10.5 ^{ns}	3.1 ^{ns}	2.3 ^{ns}
無処理	0.98(1.00)	0.97(1.00)	19.6	13.3	4.0	2.7
試験Ⅲ	移植28日後放飼		移植28日後放飼		移植28日後放飼	
PHC粒剤	0.77(0.85)		15.6 ^{ns}		3.6 ^{ns}	
OK粒剤	0.45(0.50)		5.2 ^{ns}		1.5 ^{ns}	
CTP水溶剤	0.83(0.93)		17.6 ^{ns}		3.9 ^{ns}	
無処理	0.90(1.00)		8.9		1.9	

- 注) 1. 放飼5日後の成虫生存率の()内は, 無処理の生存率が1となるよう補正した値。
- 2. 生存雌あたりの孵化幼虫数は, 放飼雌の5日間の日あたり死亡率を一定として延べ生存雌成虫数を求めたうえで計算した。
- 3. 薬剤の処理日は移植当日とし, 試験ⅡのETM・TCL粒剤-1のみ移植前日に処理した。
- 4. 有意差検定は株を反復の単位とし, 無処理と比較した。nsはP>0.05。

ず, 薬剤処理のほうがむしろ多い数値もあった(表16)。有意差の有無には反復の数とその間の変動も関与していることから, 薬剤によっては弱い産卵抑制効果や殺卵効果があることは否定できないが, このデータからは少なくとも一般的に殺虫剤の育苗箱施用が産卵抑制効果や殺卵効果を持っているとは考え難い。従って, 本モデルにおいては当面, 殺虫剤の育苗箱施用を行った水田においても産卵数や卵の生存率は無処理と同じ値にし, 精度の高いデータが得られた段階でこれらの効果をモデルに組み込むことにした。

第4項 殺虫剤による畦畔防除に関するパラメータ

(1) 畦畔防除の殺虫効果

1) 方 法

畦畔防除は畦畔に生息する越冬世代幼虫に対して行う殺虫剤の散布で, イネの収穫後に行われることもあるが, 通常はイネの移植前の4月末から5月上旬に行われる。畦畔防除は形状や植生が多様な畦畔に対して行われるため, その殺虫効果を室内などで実験的に再現することは難しい。そこで, 実際の畦畔防除の方法に従って以下の

試を行った。

i 農試内の小規模畦畔防除試験

旭川市永山の上川農試内の畦畔において7種類の殺虫剤を供試し, 越冬世代幼虫に対する短期的な防除効果を調べた。殺虫剤の散布は1992年4月27日に行い, 散布の前後に捕虫網による20回振りのすくい取りを行って, 第1項(3)の水田内の茎葉散布試験と同様の補正密度指数を算出して幼虫の死亡率を推定した。1薬剤の散布は畦畔の長さ40mの区間とし, 各3反復を設けた。

ii 農家圃場の大区画の畦畔防除試験

旭川市とその近郊の農家圃場の畦畔において, 1989, 90, 92年の3年間に計10件の大区画の畦畔防除試験を行い, 越冬世代幼虫に対する短期的な防除効果とイネの移植後の水田に侵入した越冬世代成虫の発生密度に及ぼす効果を調べた。

連続した2本以上の畦畔に殺虫剤を散布し, ほぼ同じ面積の無処理の畦畔と発生密度を比較した。1薬剤のみ供試し, 反復区は設けなかった。散布は4月27日~5月13日の間に1回行い, 散布の前後に捕虫網による10~50回

振りのすくい取りを3～8カ所行い、上記の試験と同様に補正密度指数を算出した。また、1989、90年の8件の試験については、供試した畦畔に囲まれた水田で、イネの移植後約1週間ごとに100～1,000株を対象にした払い落とし法による越冬世代成虫の発生密度調査を行った。

2) 結 果

農試圃場における畦畔防除試験の補正密度指数は、散布10日後が0～39.4、同15日後が0～4.0となった(表17)。また、農家圃場における試験では、補正密度指数は1989年が8.5～39.6、1990年が6.2～106.5、1992年は

表17 上川農試圃場における畦畔防除試験

供試薬剤	幼虫数			補正密度指数	
	4月27日 (散布直前)	5月6日	5月11日	5月6日	5月11日
BPMC粉剤	42.3	12.0	0.7	39.4	3.1
MLT・BPMC粉剤	109.0	19.3	2.3	23.9	4.0
BPR・BPMC粉剤	131.3	8.0	2.0	8.5	2.9
ETF粉剤	38.0	0	0	0	0
MEP粉剤	15.0	0.3	0	2.3	0
HOE粉剤	6.7	0.3	0	6.7	0
TCL・ETF粉剤	5.0	0	0	0	0
無処理	26.0	18.7	13.7	100.0	100.0

注) 幼虫数は、20回振りあたり捕獲個体数。

表18 農家圃場における畦畔防除試験

年次	試験地	幼虫数				散布畔の 補正密度指数
		散布区		無散布区*		
		散布前	散布後	散布前	散布後	
1989	農家Nh(旭川市永山)	26.8	3.6	3.1	4.9	8.5
	◇ Tk(旭川市西神楽)	322.7	25.1	263.6	54.0	37.9
	◇ Tn(上川郡美瑛町)	36.3	3.5	32.4	25.5	12.2
	◇ K(上川郡東神楽町)	15.0	3.0	21.0	10.6	39.6
1990	農家Nh(旭川市永山)	11.8	1.0	7.0	9.7	6.2
	◇ Tk(旭川市西神楽)	36.6	7.4	23.7	4.5	106.5
	◇ S(上川郡美瑛町)	15.6	2.4	3.5	2.3	23.4
	◇ K(上川郡東神楽町)	3.8	0.4	5.1	0.7	76.8
1992	農家Tn(上川郡美瑛町)	47.2	4.2	—	—	(8.9)
	◇ Ns(上川郡東川町)	81.0	1.6	—	—	(2.0)

注) 1. ※：無散布区についても散布区と同じ日に密度調査を行った。

2. 幼虫数は、20回振りあたりの捕獲個体数。

3. 1992年は無散布区を設けなかったため、補正密度指数に代って次式による密度指数を示した。

$$\text{密度指数} = \frac{\text{散布後の幼虫数}}{\text{散布前の幼虫数}} \times 100$$

4. 散布薬剤は1989、1990年がBPMC粉剤、1992年がBPR・BPMC粉剤。

表19 畦畔防除後の水田における越冬世代成虫密度

試験地	越冬世代成虫密度					
	1989年			1990年		
	散布	無散布	比(%)	散布	無散布	比(%)
農家Nh(旭川市永山)	0.5	0.8	62.5	0.8	1.6	50.0
◇ Tk(旭川市西神楽)	0.8	1.8	44.4	3.8	2.6	146.2
◇ Tn(上川郡美瑛町)	2.5	2.2	113.4	—	—	—
◇ S(上川郡美瑛町)	—	—	—	0.3	0.4	75.0
◇ K(上川郡東神楽町)	0.5	1.0	50.0	0.8	1.4	57.1

注) 1. 越冬世代成虫密度は、定期的な調査で密度が最高となった時の値を50株あたりの個体数で示した。

2. 比は、無散布に対する散布の百分率を示した。

密度指数が2.0~8.9, これらの平均(対数計算)は17.9となった(表18)。このように, 畦畔防除は効果の変動が大きいものの, 一般に短期的な防除効果は高いことが判った。しかし, 移植後の水田における越冬世代成虫数は, 散布した畦畔付近の水田の発生密度が無散布の畦畔付近のそれに比較し, 百分率で44.4~146.2%, 平均(対数計算)68.6%となり(表19), 畦畔における短期的な防除効果ほどの高い効果は現れなかった。

畦畔における短期的な防除効果と畦畔防除から1~2カ月後の水田における防除効果が一致しなかった原因には, 羽化成虫の移動距離に対して試験面積が十分な広さ

でなかったことが考えられるほか, 薬剤散布による天敵生物相の攪乱などによって, 畦畔での越冬世代の幼・成虫の死亡率に変化が生じたことも考えられる。また, 防除効果に大きな変動がある原因も今のところ不明である。形状や植生が一樣でない畦畔において精度の高い広大な防除試験を行うことは困難であり, また防除が個体群に及ぼす長期的影響の評価にも多大な労力が必要である。従って, 本モデルでは当面は畦畔防除に関する諸設定は行わないことにし, 関連データが得られた時点で畦畔防除をモデルに組み込むことにした。

第4章 ヒメトビウンカ個体群動態モデルの作成

第1節 個体群動態モデルのプログラミング

第1項 基本的計算法

モデル化する個体群は単位面積に存在する全発育段階の個体、すなわち卵、幼虫および成虫とした。ある時点の個体群は、発育段階ごとにグループ化して表した。また、発育速度に個体変異はないことにしているため、発育段階は産卵日からの発育有効積算温度によって表すこ

とにし、各グループは同じ日に産卵された個体のみで構成されることにした。従って、ある時点の個体群は、個体数と発育有効積算温度という2つの状態変数を持ついくつかのグループの総合として記述されることになる。

次に、個体群の変化は1日単位で計算することにした。1日経過するごとに、休眠期以外の発育段階にある全グループの持つ有効積算温度の状態変数にその日の有効温度を加算するとともに、各グループの個体数を表す状態

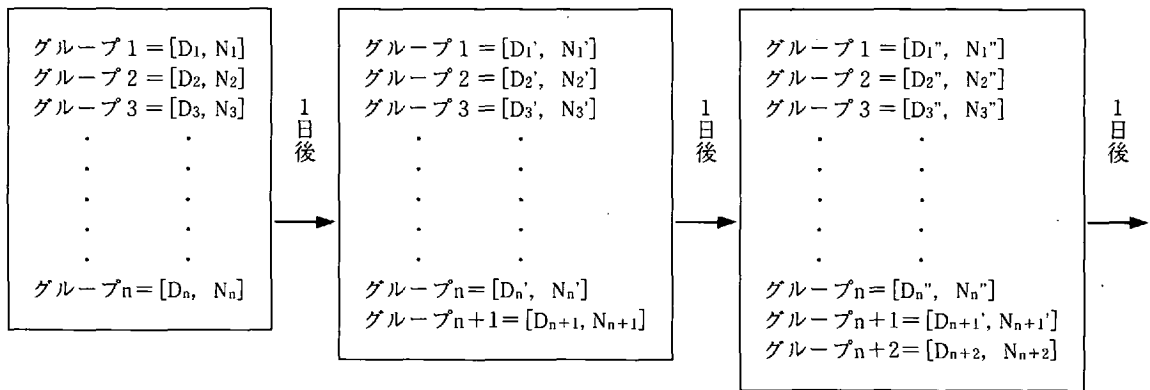


図27 個体群動態モデルの基本的計算法

注) D_i : 産下された時からの発育有効積算温度, N_i : 個体数

変数に様々な死亡要因と増加要因を作用させて個体数を増減させた。また、その日に全グループの雌成虫が産卵した卵を1つの新しいグループにまとめて個体群に加えた。

以上の計算法を模式的に図27に示した。このような計算を毎日繰り返すのがモデルの基本的な計算方法である。グループは1日に1つ加わり、ある時期を過ぎると老齢のグループが消失するので、グループ数が過大になることはない。生長と個体数変化に関する諸要因の計算が煩雑であるため、計算は全てコンピュータで処理することにした。

第2項 計算の諸条件設定

(1) 計算期間および初期個体群の齢構成

本種の活動期間は、春期の融雪直後から秋期の初積雪が観測される頃までである。そこで、本モデルの計算期間は、根雪期間の終日前後にあたる4月1日から初積雪期の10月31日までの7カ月214日間とした。

初期個体群は4月1日に畦畔に生息する越冬世代幼虫とし、その総個体数はプログラムの起動後に入力する。

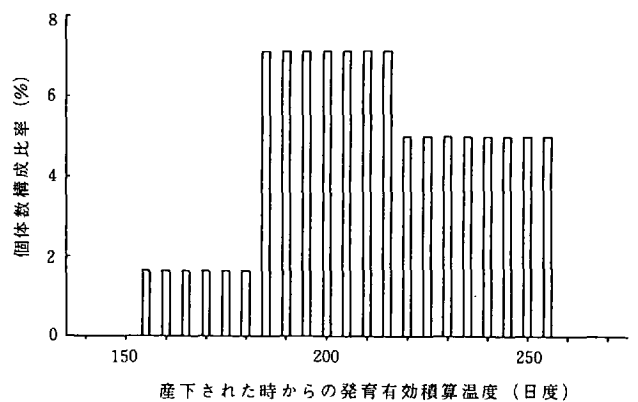


図28 初期個体群の齢構成

注) 155~180日度が2齢, 185~215日度が3齢, 220~255日度が4齢幼虫。

初期個体群の齢構成は一定とし、1985~1991年の旭川市とその近郊の延べ23圃場における4月中下旬の畦畔越冬幼虫の齢構成の調査結果、および同時期に齢構成を調べ

た梶野・奥山(1980)を参考にして、2齢10%、3齢50%、4齢40%とし、5日度ずつ発育段階の異なる21個のグループに分けて初期個体群とした(図28)。

なお、計算期間が長期間となることから途中で実測値との差異が生じることがあり、また必ずしも4月1日を計算の起点とできない場合もあることから、計算途中の任意の日において個体数および発生時期を補正できるように設定した。すなわち、個体数の補正は、補正日の実際の発生個体数(発生密度)とモデルが計算した個体数との比率を入力し、補正日の全グループの個体数にその比率を乗じてモデルの計算値を実際の値に一致させた。発生時期の補正は、補正日に月日の変数を実際の発生時期に一致させるのに必要な日数だけ増減させて行った。

(2) 気象条件および防除条件の入力方法

本モデルでは、気象データとして計算期間の日別の気温と降水量を使用した。気温のデータは日最高気温と日最低気温とし、発育有効温度は日最高気温と日最低気温をもとに三角法(坂神・是永, 1981)で求めることにした。気象データは、本モデルのプログラムとは別に、表計算ソフトで作成したデータファイルとして事前に用意し、それを必要に応じて読み込む形をとった。計算に使用する気象ファイル等の指定および具体的な薬剤防除方法の入力は、プログラムの起動後に対話形式で行えるようにした。

(3) 出力方法

モデルを用いて、春期の畦畔での幼虫数の推移、イネの移植から収穫までの水田における卵、幼虫および成虫の個体数の推移、およびイネの収穫後の畦畔における幼虫数の推移を計算した。計算結果は日ごとに集計され、卵数、各齢幼虫数および雌雄別成虫数として出力されるほか、発生消長図および各世代の発生ピーク時の状況のみ集計した一覧表としても出力されるものにした。

本種の発生調査は、病害虫発生予察事業の実施要領に準拠し、イネの移植期から出穂期までの水田ではイネ株の払い落とし法、畦畔および出穂期以降の水田では捕虫網によるすくい取り法で行われるのが一般的であり、発生密度は、通常これらの調査で記録される個体数を用いて、払い落とし法では50株あたりの寄生個体数、すくい取り法では20回振りあたりの捕獲個体数で表される。従って、本モデルの計算結果の出力は、利用者の便を考え、単位面積あたりの個体数で表示するほかに、これらの発生調査で記録される個体数に換算して表示することもできるものにした。

モデルによって計算された個体数を発生調査で記録される個体数に換算するには調査効率—すなわち発生調査

で記録される個体数と発生密度との対応関係—が明らかである必要があるため、本モデルでは調査効率を以下のように設定した。まず、すくい取り法の調査効率、すなわち捕獲効率は、八谷(1984)に従い、捕虫網がすくい取る平面積内に生息する個体数に対し成虫10%、幼虫5%とした。すくい取りの方法は、口径36cmの捕虫網を使い、振る回数が20回、左右に扇形に振る幅が水田では約8畦分の2.8mであるので、すくい取る面積はこれらの数字を乗じた20m²(0.36×2.8×20)とし、畦畔においては振る幅が狭いので、すくい取る面積は水田の2/3の13.3m²とした。

払い落とし法の場合は、イネの移植後間もない時期においては、気温が低いため成虫はほとんど飛翔せず、またイネ体が小さくて虫が隠れにくいことから、見落される個体は少なく、調査効率は100%に近いと考えられる。しかし、ヒメトビウンカと種は異なるが、出穂期後のセジロウンカに対する払い落とし法の調査効率は約40%(Nagata et Masuda, 1978)、同じくツマグロヨコバイに対しては出穂期で10.9%、乳熟期で6.5%(大沢ら, 1989)とされ、調査効率はイネの生長と気温の上昇とともに低下すると考えられる。そこで、本モデルでは、移植直後の状況とNagata and Masuda(1978)を参考にし、調査効率をこれらの値のほぼ中間の70%に設定して個体数の換算を行った。なお、イネの栽植密度は一般的な25株/m²としたので、50株の払い落とし調査は水田2m²内のイネ株を払い落とすという計算になる。

(4) その他の計算条件

イネの移植日は5月20日、収穫日は9月30日とした。

第3項 プログラム

(1) プログラミング

モデルのプログラムは、簡易プログラム言語BASICを使い、図29に概略を示したフローに従って作成した。プログラムのリストは、末尾の付表1に示した。また、このプログラムによって表される個体群動態モデルをLASTRIS(Laodelphax striatellus Simulation Model)と命名した。

(2) 計算結果の出力例

本モデルによるヒメトビウンカの個体群動態の計算結果の例として、1979～1992年の上川農試における無防除条件の成虫の発生消長を図30に示した。また、実測値と本モデルの計算結果を対比した例を図31(無防除条件)と図32(防除条件)に示した。

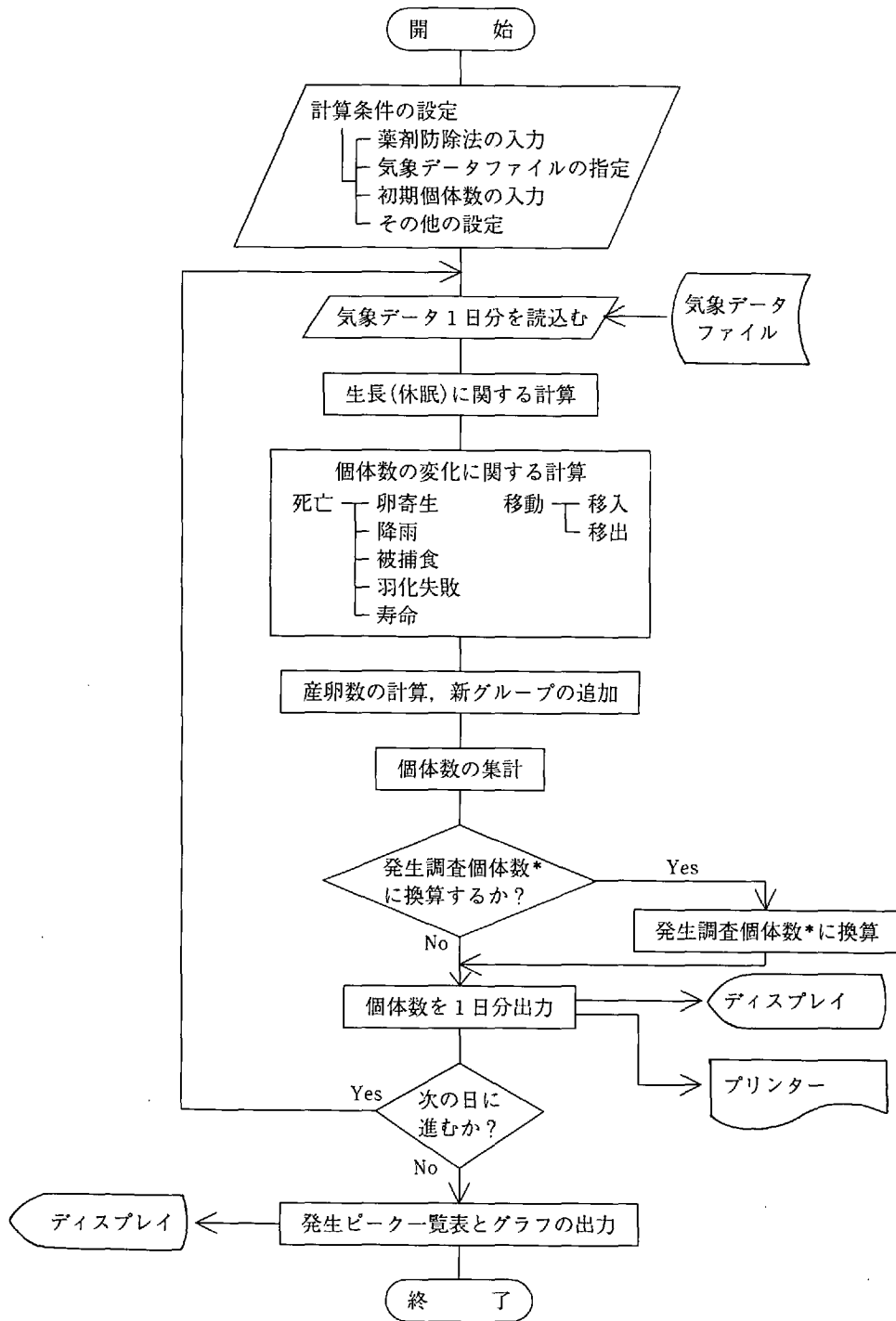


図29 個体群動態モデルLASTRISのプログラムのフロチャート

注) * : 発生調査で記録される個体数。

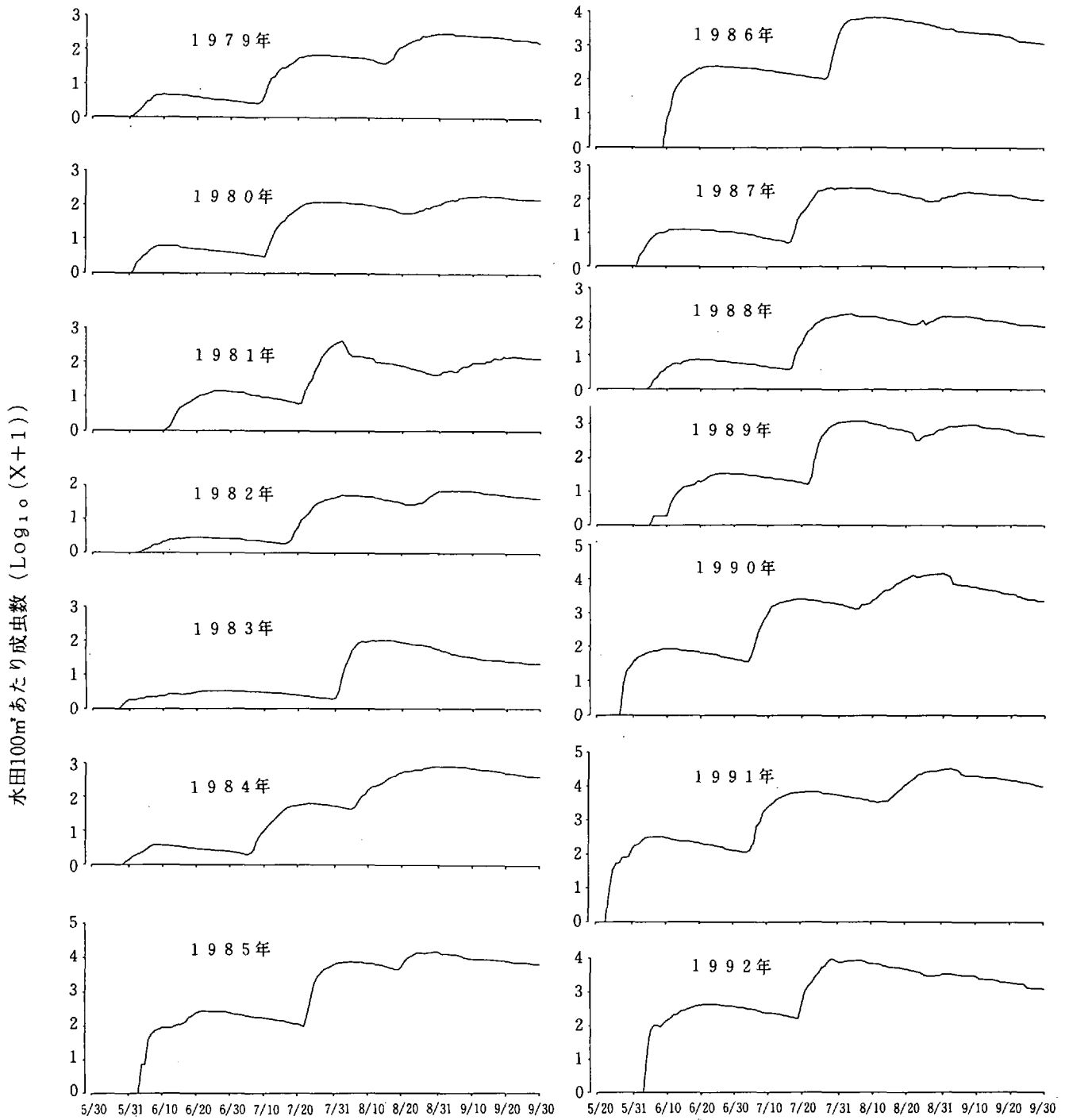


図30 個体群動態モデルLASTRISの計算結果の例

注) 上川農試における初期個体群密度と気象条件をもとに計算した。無防除条件。

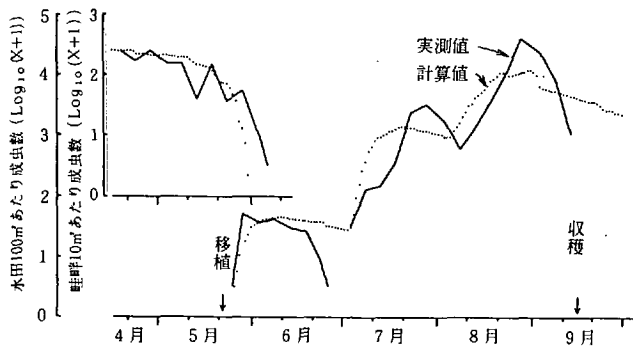


図31 個体群動態モデルLASTRISの計算結果と実測値の比較-1

注) 1990年の上川農試における無防除水田の値を示す。

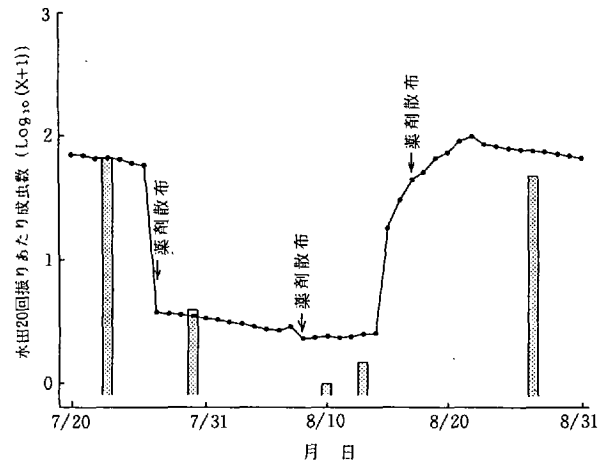


図32 個体群動態モデルLASTRISの計算結果と実測値の比較-2

- 注) 1. 旭川市において1990年の夏期に殺虫剤の茎葉散布を3回行った(7月27日, 8月8日および17日にそれぞれ効果が「強」、「弱」、「弱」の薬剤を使用)。
2. 棒グラフが圃場の実測値, 折れ線がモデルの計算値。
3. 計算には, 7月23日の個体数が実測値に一致するような初期個体群密度を与えた。

第2節 個体群動態モデルの適合性

ヒメトビウカの発生消長は年次や地域によって異なるが, 他の農業害虫と同様に, 同一の年次と地域内であっても薬剤防除法の違いによって圃場ごとに大きく異なるのが一般的である。作成した個体群動態モデルLASTRISの適合性の検討は, 煩雑を避けるため, まず異なる年次や地域を対象に無防除圃場について行い, 次いで同一年次, 地域の薬剤防除圃場について行った。

第1項 無防除条件下の発生消長の適合性

(1) 方法

旭川市永山の旭川農試, 岩見沢市上幌向の中央農試稲作部および亀田郡大野町の道南農試では, 害虫の発生予察圃として毎年殺虫剤を全く使用しない水田を標準的耕種法のもとに作付けし, 害虫類の発生消長を調査するとともに, この水田付近で気象観測を行っている。そこで, これら3カ所の水田における本種の発生消長を本モデルの適合性検討の対象とした。観測された気象データと初期個体群の発生密度を使って本モデルで発生消長を計算し, 対象水田で実際に観測された発生消長と比較した。年次は1979~1992年の14年とし, 個々の検討項目では, 欠測や少発生の年次は除いた。

適合性の検討は, 発生時期と発生密度に分け, それぞれ世代ごとに行った。各世代の発生期間は連続し, 初発期や終息期の把握はできないことが多いので, 発生時期の代表値はその世代の発生ピーク時期, すなわちその世代の発生期間内で個体数が最多となった日とした。ただ

し, 発生予察調査は欠測日があつて, そのデータは半旬(旬を前後5日ずつに分けたもので, 月を第1~6半旬で表したもの)ごとに集計されているので, 実測値の発生ピーク時期は半旬を単位とした。発生密度の代表値は, 発生ピーク時における個体数とし, 実測値, 計算値ともに発生調査で記録される個体数で表して比較した。発生調査の方法は, 越冬世代成虫がイネ株の払い落し法, 他の世代の成虫および幼虫が捕虫網によるすくい取り法としたが, 発生時期の判断には, 黄色水盤などによる調査データも一部使用した。

(2) 発生時期の適合性

1) 越冬世代成虫

旭川市における越冬世代成虫の発生ピーク時期は, 実測値が平均6月4半旬, 計算値が6月18日となり, 両者はほぼ等しかったが, 両者の相関関係は $r=0.357$ ($P>0.05$, $N=7$)と低く, 実測値の半旬と計算値の月日が一致した年は7年中1年のみであった(図33, 左)。岩見沢市および大野町では, イネ株の払い落し法による発生調査を行っていないため, 黄色水盤や畦畔におけるすくい取りのデータの発生ピークを集計した。計算値と実測値とは発生調査の方法が異なるため両者の直接の比較はできないが, 計算値が実際の発生に適合していれば, 発生調査方法が異なっても実測値と計算値とは相関関係があるはずである。しかし, 両者の相関関係は, 岩見沢市では $r=0.034$ ($P>0.05$, $N=11$)と低く, 大野町では $r=0.481$ ($P>0.05$, $N=14$)であったが, 有意な相関は認められなかった(図33, 中, 右)。

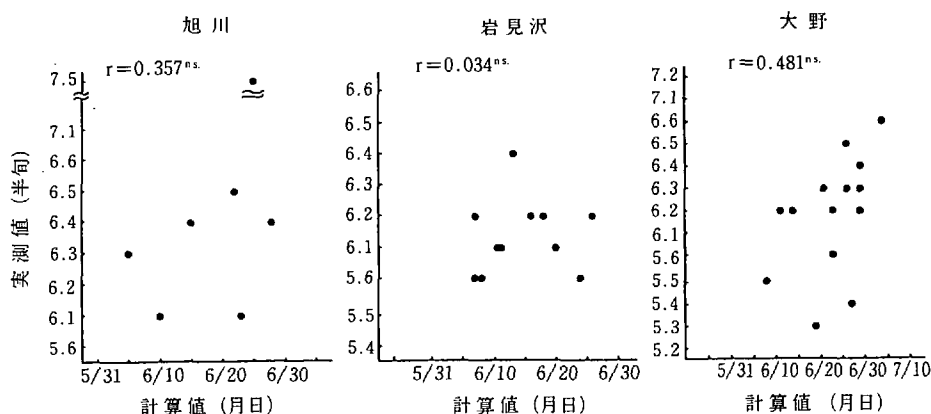


図33 無防除水田における個体群動態モデルLASTRISの越冬世代成虫発生ピーク時期の適合性

注) 調査年次と実測値の調査方法は、旭川市が1985～92年のうちの7年(1年欠測)のイネ株払落し法、岩見沢市が1982～92年の11年の黄色水盤法と畦畔のすくい取り法、大野町が1979～92年の14年の黄色水盤法。

越冬世代の成虫期は年間を通して最も発生密度が低い時期であり、発生時期に入っても成虫が全く記録されないことがあったり、複数の方法で発生調査を行うとしばしば異なる発生時期を示すなど、正確な発生調査が難し

い時期である。岩見沢市は強風地帯にあって春期に調査を行うのに好適な天候が少ないため、3地点中で最も相関係数が小さくなったと推察される。後述するように、越冬世代以降の世代はいずれの地点でも越冬世代よりモ

表20 道内3カ所の無防除水田における第1, 2世代成虫発生ピーク時期に関する個体群動態モデルLASTRISの計算値と実測値との相関関係および計算値の的中率

世代	地点	相関係数	的中率	対象年次
A ₁	旭川	r=0.872**	53.8(84.6)	1979～92年のうち水害の1981年を除く13年
	岩見沢	r=0.814**	57.1(85.7)	1979～92年の14年
	大野	r=0.716**	23.1(84.6)	1979～92年のうち少発生の1992年を除く13年
A ₂	旭川	r=0.842**	71.4(92.9)	1979～92年の14年(うち2年は発生ピークなし)
	岩見沢	r=0.752**	50.0(85.7)	1979～92年の14年
	大野	r=0.665*	28.6(57.1)	1979～92年の14年(うち2年は発生ピークなし)

注) 1. A₁, A₂は、第1, 第2世代成虫を示す。
 2. *は0.01<P≤0.05, **はP≤0.01で有意。
 3. 実測値はすくい取り法によるデータに基いた。ただし、相関係数の計算においては、実測値は旭川のA₂を除いて黄色水盤法によるデータも一部使用した。
 4. 第2世代成虫の発生ピークがなかった年は、相関係数の計算から除外したが、的中率の計算には含め、計算値、実測値ともに発生ピークがなかった場合は的中として扱った。
 5. 的中率の()内は1半旬異なったものも含んだ場合の的中率。

デルの適合性が高い。これらのことから、越冬世代において適合性が低い結果となった主因は、実測値の調査精度が低いことにあり、低い適合性はモデルに問題があることを意味するものではないと考えられる。

2) 第1および第2世代成虫

旭川市における成虫の発生ピーク時期に関する本モデルの計算値と実測値との相関係数は、第1世代がr=0.872 (P≤0.01, N=13), 第2世代がr=0.842 (P≤0.01, N=12) であり、両者には高い相関関係があった。岩見沢市および大野町においても相関係数は、r=0.665 (0.01<P≤0.05, N=12) ~0.814 (P≤0.01, N=14) の範囲にあり、旭川市より相関係数は小さいものの、いずれの地点も両世代において有意な相関関係が認められ

た(表20)。

本モデルが計算した発生ピーク時期の月日を半旬に直して実測値の半旬と照らし合わせると、旭川市の場合、計算値と実測値とが一致した年は、第1世代が13年中7年、第2世代が14年中10年となり、的中率はそれぞれ53.8%と71.4%であった(表20, 21)。岩見沢市における的中率はそれぞれ57.1%と50.0%となり、旭川市に近い値であったが、大野町における的中率は23.1%と28.9%にとどまった。しかし、前後1半旬異なったものも中の中を含めるといずれの地点も中率は高まり、大野町の第2世代を除いて84.6～92.9%の高的中率となった(表20)。前後1半旬、すなわち5日以内の誤差は実際に防除対策を講じるうえで許容できる範囲である。

表21 旭川市の無防除水田における第1, 2世代成虫発生ピーク時期に関する個体群動態モデルLASTRISの計算値と実測値との比較

年	第1世代成虫			第2世代成虫		
	計算値	実測値	差	計算値	実測値	差
	月日	月半旬	半旬	月日	月半旬	半旬
1979	7/28	8.1	+1	9/ 2	9.2	+1
1980	7/29	7.6	0	9/13	9.3 ^{※1}	0
1981	8/ 2	(8.4 ^{※2})	(+3)	9/22	9.5	0
1982	8/ 2	8.1	0	9/ 4	9.1	0
1983	8/13	8.3	0	なし ^{※3}	なし ^{※3}	0
1984	7/24	7.5	0	8/30	8.5	-1
1985	8/ 8	8.1	-1	8/30	8.6	0
1986	8/11	8.2	-1	なし ^{※3}	なし ^{※3}	0
1987	8/ 4	8.1	0	9/ 8	9.1	-1
1988	8/ 4	8.1	0	9/ 7	9.2	0
1989	8/ 4	8.1	0	9/ 9	8.6	-2
1990	7/20	7.6	+2	8/31	8.6	0
1991	7/22	8.1	+2	9/ 3	9.1	0
1992	7/29	8.1	+1	9/ 6	9.2	0

注) 実測値はすくい取り調査に基いたが、1箇所(※1)のみ黄色水盤を参考にした。※2: 豪雨で水害を受けた。※3: 成虫数は第1世代成虫発生ピークのあと減少を続け、第2世代成虫ピークを作らずに秋期の発生終息を迎えた。

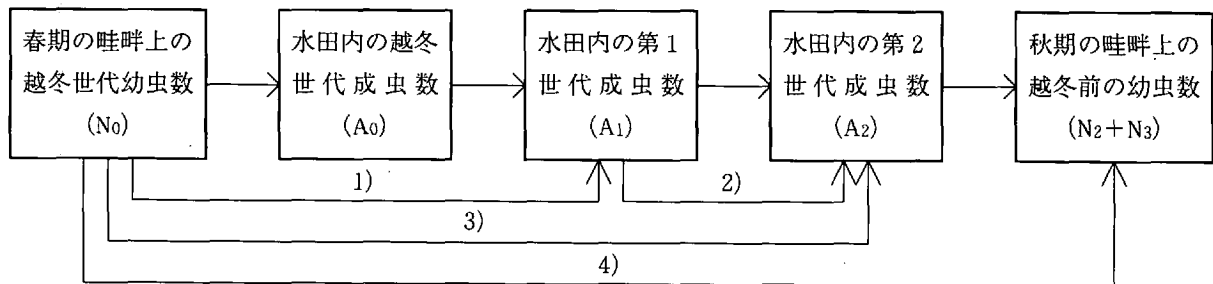


図34 発生密度の適合性検討の模式図

注) 説明は本文参照。図中の1)~4)は本文の小項目と対応。

従って、このような発生ピーク時期の高い的中率からみて、本モデルが計算した発生時期には実用上十分な適合性があるといえる。

(3) 発生密度の適合性

本モデルは4月1日の畦畔上の越冬世代幼虫(N₀)を初期個体群として最長で10月末の畦畔上の幼虫個体群(N₂+N₃)に至るまでの発生消長を計算するものであるが、その過程で計算値を実測値に一致するよう補正することができる。そこで、発生密度の適合性の検討は全期間通したもののほかに、その一部を区切ったものについても行った。適合性の検討や計算値の補正をしやすい生長段階として水田内の越冬世代成虫(A₀)、第1世代成虫(A₁)および第2世代成虫(A₂)がある(図34)。このうち水田内の越冬世代成虫(A₀)の発生密度は(2)の1)で示したように実測値の調査精度が比較的低い。また、通常は薬剤防除の対象にならない秋期の畦畔上の

幼虫(N₂+N₃)の密度を水田内の発生密度から予測することも実用上の価値は小さい。従って、発生密度の適合性の検討は、N₀を起点としたA₁の計算、A₁で計算値の発生密度を補正したあとのA₂の計算、N₀を起点としたA₂の計算、および全期間であるN₀を起点としたN₂+N₃の計算の4つについて行った。ただし、対象とした3地点のうち岩見沢市と大野町についてはN₀に関する調査データがないことから、A₁で計算値を補正したあとのA₂の計算のみを検討した。

なお、本項における発生密度およびその増加率は、すくい取り法による20回振りあたり捕獲個体数を常用対数に直して集計、表示した。

- 1) 春期畦畔越冬幼虫(N₀)を計算起点にした第1世代成虫(A₁)の発生密度

旭川市について、本モデルに春期の畦畔上の越冬世代幼虫(N₀)発生密度の実測値を与えて第1世代成虫(A₁)

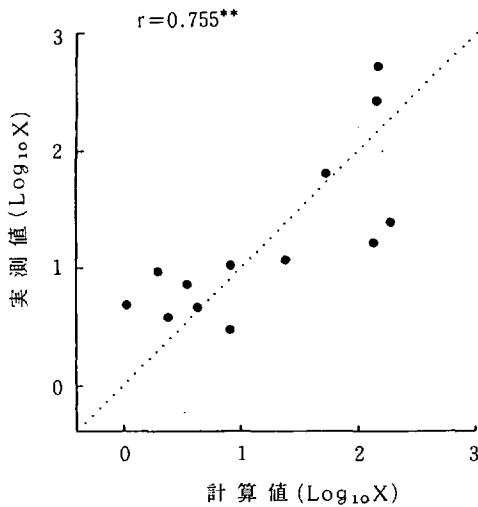


図35 第1世代成虫発生密度の適合性

注) 旭川市, 無防除水田, 1979~92年のうち越冬世代がごく低密度の1年を除く13年。発生密度はピーク時の20回振りあたり個体数。

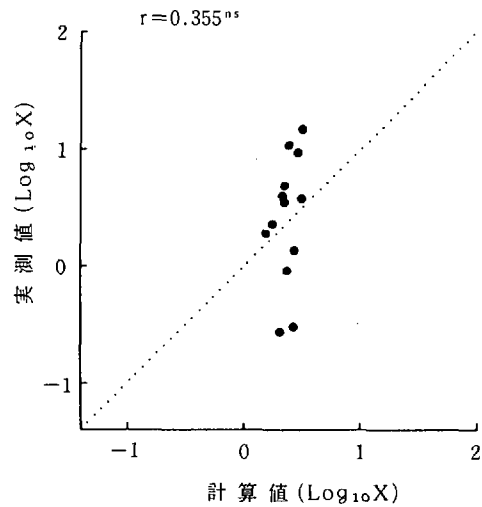


図36 春期畦畔越冬幼虫から第1世代成虫への発生密度増加率の適合性

注) 計算データは, 図35と同じ。

発生期までの発生消長を計算した。その結果, A_1 の発生ピーク時の密度(平均±標準偏差)は, 計算値が 1.196 ± 0.822 , 実測値が 1.217 ± 0.703 , 両者の相関係数は $r=0.755$ ($P \leq 0.01$, $N=13$) となり, 計算値には適合性が認められた(図35)。しかし, N_0 から A_1 への増加率(平均±標準偏差)は, 計算値が 0.384 ± 0.092 , 実測値が 0.405 ± 0.549 となり, 平均値はほぼ等しかったが, 年次変動は計算値のほうがはるかに小さかった(図36)。このように本モデルは, N_0 にほぼ比例した A_1 を算出していることから, A_1 の密度において認められた適合性は, 初期個体群密度として与えた N_0 の実測値自体が大きく年次変動をしていることによって得られたと考えられる。

2) 第1世代成虫(A_1)発生密度の補正計算値を計算起点にした第2世代成虫(A_2)発生密度
旭川市について, 第1世代成虫(A_1)発生ピーク時に発生密度の計算値を実測値に一致するよう補正したうえで第2世代成虫(A_2)発生密度を計算した。その結果, A_2 の発生ピーク時の密度(平均±標準偏差)は, 計算値が 1.446 ± 1.035 , 実測値が 1.735 ± 1.169 , 両者の相関係数は $r=0.838$ ($P \leq 0.01$, $N=12$) となり, 計算値はほぼ適合していた(図37)。また, A_1 から A_2 への増加率(平均±標準偏差)は, 計算値が 0.217 ± 0.498 , 実測値が 0.505 ± 0.652 , 相関係数は $r=0.407$ ($P > 0.05$, $N=12$) となったが, 計算値が実測値より明らかに過大であった3年を

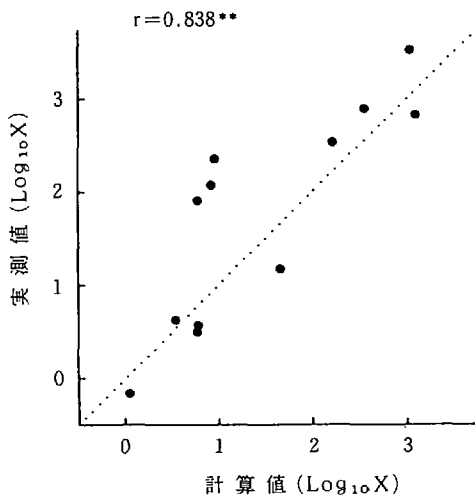


図37 第1世代成虫期の補正計算値を計算起点にした第2世代成虫発生密度の適合性(旭川市)

注) 無防除水田, 1979~92年のうち第2世代成虫の発生ピークがなかった2年を除く12年。発生密度はピーク時の20回振りあたり個体数。

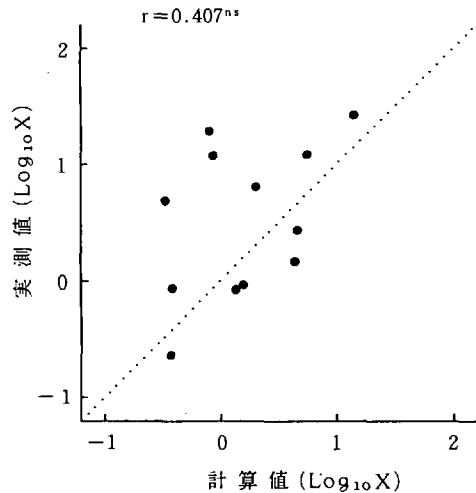


図38 第1世代成虫から第2世代成虫への発生密度増加率の適合性

注) 計算データは, 図37と同じ。

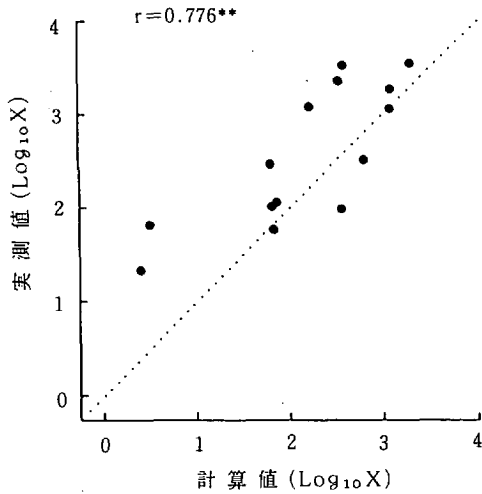


図39 第1世代成虫期の補正計算値を計算起点にした第2世代成虫発生密度の適合性 (岩見沢市)

注) 無防除水田, 1979~92年の14年。発生密度はピーク時の20回振りあたり個体数。

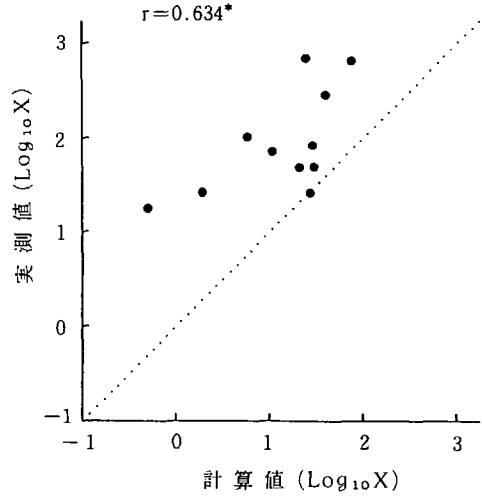


図40 第1世代成虫期の補正計算値を計算起点にした第2世代成虫発生密度の適合性 (大野町)

注) 無防除水田, 1979~92年のうち第1世代成虫がごく低密度であった年と第2世代成虫の発生ピークがなかった年を除く11年。発生密度はピーク時の20回振りあたり個体数。

除いて両者はほぼ適合していた (図38)。

岩見沢市および大野町で同様の計算を行ったところ、岩見沢市では計算値が 2.149 ± 0.877 、実測値が 2.544 ± 0.722 、相関係数が $r=0.776$ ($P \leq 0.01$, $N=14$) となり、旭川市に近い適合性が認められた (図39)。しかし、大野町では相関係数が $r=0.634$ ($0.01 < P \leq 0.05$, $N=11$) であったものの、計算値は 1.123 ± 0.640 、実測値は 1.951 ± 0.548 となり、平均値の差0.828を実数に直すと6.73倍の差となり、適合性は低かった (図40)。

3) 春期畦畔越冬幼虫 (N_0) を計算起点にした第2世代成虫 (A_2) の発生密度

旭川市について、本モデルに春期の畦畔上の越冬世代幼虫 (N_0) 発生密度の実測値を与えて第2世代成虫 (A_2) 発生期までの発生消長を計算した。その結果、 A_2 の発生ピーク時の密度 (平均±標準偏差) は、計算値が 1.327 ± 0.967 、実測値が 1.663 ± 1.197 、両者の相関係数は $r=0.850$ ($P \geq 0.01$, $N=11$) となり、高い適合性を示した (図41)。なお、本モデルを使わずに N_0 から A_2 への発生密度増加率の11年平均値を各年の N_0 に乗じて計算した A_2 の発生密度は、実測値との相関関係が $r=0.640$ ($R^2=0.410$) であり、本モデルの計算値 ($R^2=0.722$) の適合性のほうがこれより明らかに高かった。

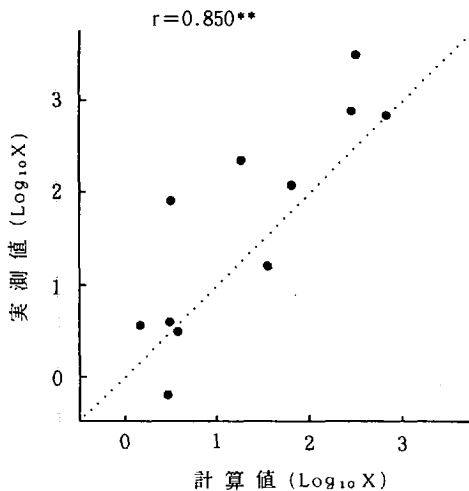


図41 第2世代成虫発生密度の適合性

注) 旭川市, 無防除水田, 1979~92年のうち越冬世代がごく低密度であった1年と第2世代成虫の発生ピークがなかった2年を除く11年。発生密度はピーク時の20回振りあたり個体数。

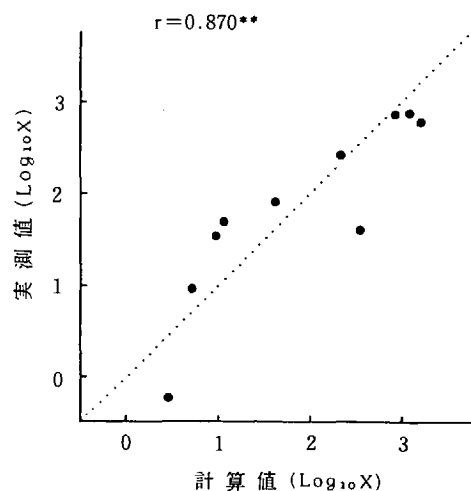


図42 秋期畦畔越冬幼虫発生密度の適合性

注) 旭川市, 無防除水田, 1982~1992年のうち越冬世代がごく低密度であった1年を除く10年。計算値は10月31日、実測値は発生ピーク時の20回振りあたり個体数。

4) 春期畦畔越冬幼虫 (N_0) を計算起点にした
秋期畦畔越冬幼虫 (N_2+N_3) の発生密度

旭川市について、本モデルに春期の畦畔上の越冬世代幼虫 (N_0) 発生密度の実測値を与えて秋期の畦畔上の越冬幼虫 (N_2+N_3) 発生期までの発生活消長を計算した。その結果、 N_2+N_3 の密度は、計算値(平均±標準偏差)が 1.894 ± 1.050 、実測値が 1.848 ± 0.972 、両者の相関係数は $r=0.870$ ($P \leq 0.01$, $N=10$) となり、高い適合性を示した(図42)。また、本モデルを使わずに N_0 から N_2+N_3 への発生密度増加率の平均値を各年の N_0 に乗じて計算した N_2+N_3 の発生密度は、実測値との相関関係が $r=0.604$ ($R^2=0.365$) であり、本モデルの計算値($R^2=0.757$)の適合性のほうがこれより明らかに高かった。

(4) 発生密度の年次変動計算の適合性

1) 方法

本モデルは春期の融雪直後から秋期の積雪直前までの期間の発生活消長を計算するものであるから、これに冬期の越冬率を加われば、周年の発生推移の計算ができ、複数年の連続した発生密度変動の計算も可能となる。この考え方のもとに、旭川市の1979~1992年の14年間の連続した発生密度変動を計算し、第1世代成虫の発生密度を

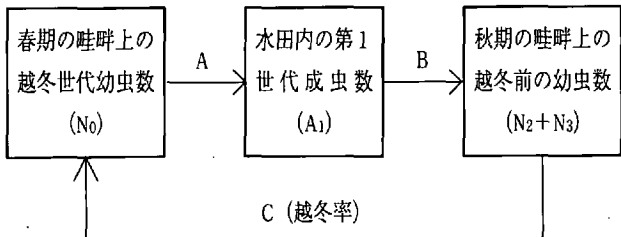


図43 発生密度の年次変動計算の適合性検討模式図

注) 説明は本文に示した。

例にとって年次変動を実測値と比較した。春期畦畔越冬幼虫から秋期畦畔越冬幼虫までの発生活消長(図43のAとB)は本モデルで計算し、秋期畦畔越冬幼虫から翌春の畦畔越冬幼虫までの越冬率(図43のC)は、対象水田における各年の実測値を使った場合とその平均値11.2%を使った場合の2通りを計算した。1979年の第1世代成虫発生密度の実測値を初期値とし、以降の発生密度は各年の実測値で補正せずに1992年まで続けて計算した。

2) 結果

第1世代成虫の発生密度は、実測値と計算値の相関係数が $r=0.511$ (越冬率に各年の実測値を使用した場合、 $P > 0.05$, $N=13$) であった。実測値が1986年と1992年に急激な低下をしたのに対し計算値がこれらの年に横ばいしないし増加しているなど、年次ごとに見ると計算値と実

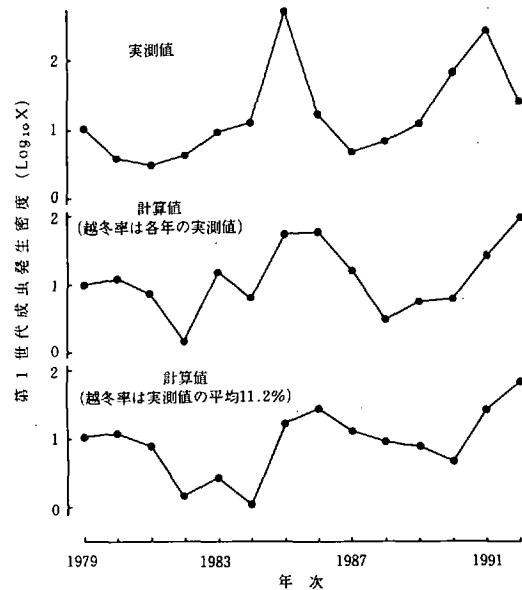


図44 第1世代成虫発生密度の年次変動計算の適合性

注) 旭川市、無防除水田。発生密度はピーク時のすくい取り20回振りあたり個体数。1980, 81, 82, 84年の越冬率は欠測につき、計算におけるこれらの年の越冬率は11.2%とした。

測値が一致しない年があったが、この14年間に起こった2回の多発生と低密度期の繰り返しは、計算値からも読みとることができた(図44)。従って、本モデルの計算によって、発生密度のおおよその年次変動を知ることができると考えられた。

(5) 小括

本モデルが計算した成虫の発生時期は、検討した北海道内3カ所の水田のいずれにおいても実測値との適合性が高かったため、本モデルは発生時期の予測モデルとして、道内の広い範囲で十分実用的に使用可能であると考えられる。また、本モデルは通常の発生調査ではこれまで全く把握できなかった卵の発生時期も明らかにできることから、殺卵効果がない殺虫剤の散布適期の判断などにも利用できると思われる。

発生密度の計算値は、旭川市において適合性が高かった。それ以外の地点で適合性が劣る原因は、本モデルのパラメータが旭川市を中心とした上川地方中部におけるデータに基づいて設定されており、地域差があると考えられる休眠時期、卵寄生蜂の寄生率、水田への移動率などに関する地域差の検討が休眠時期以外なされていないためであると考えられる。

旭川市においても、第1世代成虫の発生密度の計算は適合性が低かった。この原因の一つは、水田への侵入に関する設定が単純化され、侵入は各個体のある発育段階に一定の率で起こるとされており、気象条件やイネの生育条件など水田への侵入に影響を与えると考えられる要

因が考慮されていないためである。また、畦畔で極めて高い密度で越冬した場合、密度に依存した生存率低下の可能性も十分考えられるが、この点も本モデルでは考慮されていない。これらの変動要因を組み入れなければ、本モデルは第1世代成虫の発生期までは年次変動の少ない平均的な発生密度変動を計算するにとどまらざるをえない。このことは春期から秋期までの発生動態をモデル化する本モデル全体の意義を消失させるものではないが、越冬世代と第1世代がイネ縞葉枯病ウイルスの媒介者として重要であることから、本モデルをイネ縞葉枯病対策に活用するためには、この時期の発生密度の変動要因をさらに細かく設定する必要がある。

第2世代成虫の発生密度については、旭川市において本モデルの計算値がほぼ適合し、岩見沢市においてもある程度の適合性が認められた。本モデルが適合した最大の理由は、休眠率の変動にあると考えられる。すなわち、モデルでは休眠は日長によって決定されるよう設定されており、第2世代の発生時期が気温などに起因して前後に変動することによって第2世代幼虫の休眠率に大きな変動をもたらす構造となっており、このような設定が実際の発生メカニズムを正しく再現しているためであると考えられる。第2世代成虫は発生密度の年次変動が大きく(第2章、図3)、高密度時はイネに吸汁害を起こす可能性があるため、その発生密度の予測は重要である。第1世代成虫の発生時期に本モデルの計算値が実測値に一致するよう計算値の補正を行えば、第2世代成虫の発生密度の計算精度はさらに高まる。従って、本モデルによって本種が吸汁害を起こすほどの高い密度に達するか否かを予測することは十分可能であり、本モデルはこの点において発生密度の予測モデルとしての目的を果たせるものと考えられる。

また、秋期の畦畔上の越冬幼虫発生密度の計算にも適合性が認められた。秋期の越冬幼虫発生密度は、翌年の発生を予測して防除対策の用意をするために必要なデータであることから、本モデルの予測はここでも活用が可能である。さらに、複数年にわたる発生密度変動についても、本モデルである程度の説明ができたことから、これまで予想が難しかった長期間の発生密度変動の予測においても、本モデルは利用価値があると考えられる。

本モデルの適合性検討のための計算は、既知の気象条件を使用して行った。従って、気象条件が未知である通常の場合は、次善の策として気象予報を使って平年値を修正した仮の気象条件によって計算しなければならない。この場合、予測精度は気象条件が既知の場合より当然低くなり、その精度は気象予報の精度に大きく依存せ

ざるを得ない。しかし、気象予報を有効に活用して、ある幅をもった発生予測をすることは可能であるから、本モデルによって発生の可能性を知り、被害の危険性を予測することは十分可能である。

一般農家の水田では、通常は殺虫剤が施用されるので、本項で示した無防除条件下の発生予測は、実際にはこのままでは適用できない。しかし、病害虫発生予察事業のもとで無防除の発生予察圃場のデータをもとに発せられる発生予察情報は、地域一円の発生概況を予報し、一般農家が防除対策を立てるうえで極めて重要な情報となっている。本モデルは、この発生予察情報の精度向上を計るうえで利用価値が高い。また、これまで病害虫発生予察事業などでほとんど取り組まれていなかった数値予報を容易にすることも本モデルの大きな利点であろう。

第2項 薬剤による防除効果の適合性

(1) 殺虫剤の茎葉散布

1) 方法

1989年と1990年に旭川市とその近郊の一般農家水田計5カ所において本モデルの適合性を調査した。調査水田では、夏期の防除時期である7月下旬から8月下旬に各地区の防除暦に準じた慣行的な薬剤散布が行なわれたので、散布開始期から散布終了後の9月中下旬まで約1週間毎に捕虫網によるすくい取りを行って成虫と幼虫の発生密度を調査した。すくい取りは、1回の調査につき20回振りを2~3回行った。なお、1990年には、参考のため無農薬栽培を行っている農家水田1カ所も調査に加えて、他の調査水田と同じ時期にすくい取りによる発生密度調査を行った。

調査終了後、本モデルにその年の旭川市の気象条件と調査水田の防除条件を与えて発生消長を計算し、実測値と比較した。実測値との比較が容易なように、モデルの計算は、初期個体群密度に仮の値を与えて一旦行い、その結果を参照して、1回目のすくい取り調査日の成虫数が実測値と一致するような初期個体群密度を与え直して再計算を行った。使用された薬剤の殺虫力は、ピレスロイド系、有機珪素系およびクロロニコチル系の有効成分を含む薬剤を「強」、カーバメート系を主たる有効成分とする薬剤を「中」、有機燐系を主たる有効成分とする薬剤を「弱」として計算を行った。

2) 結果

水田I(図45)：4回の薬剤散布が行われた。成虫の発生密度の実測値は、増減を繰り返しながら徐々に低下して9月には極めて低くなり、幼虫の実測値は、1回目の散布以降、高い密度で推移した。モデルでは1回目の薬剤散布の効果を実際より過小評価し、発生密度は3回

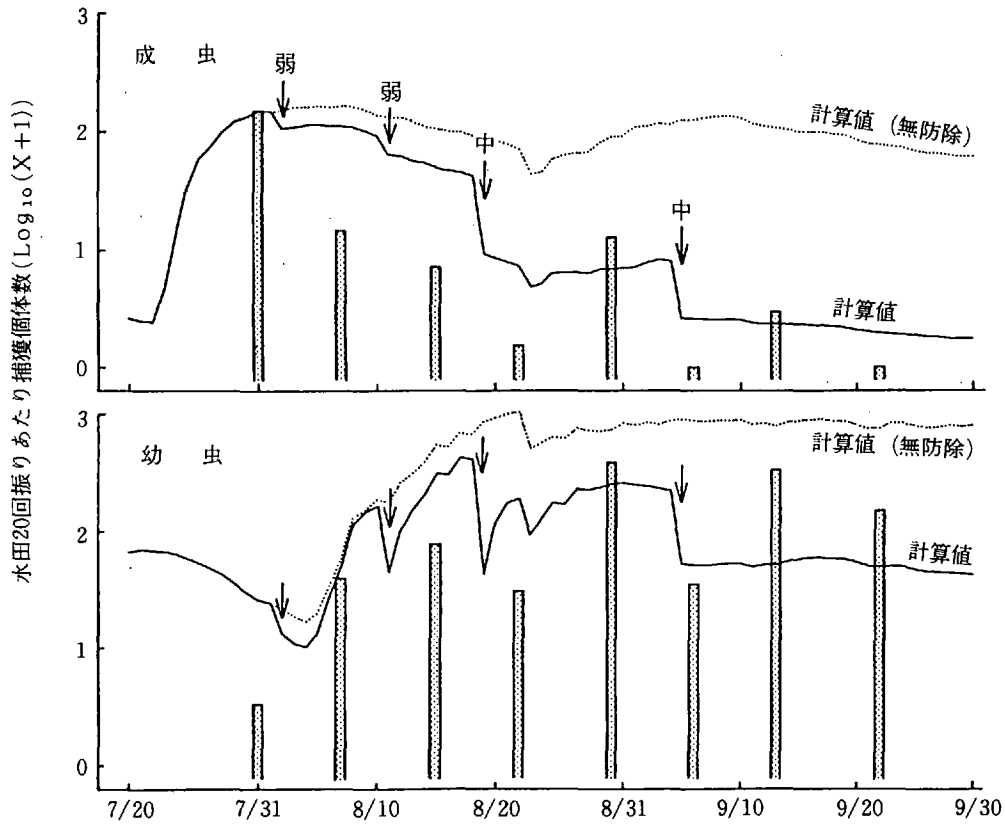


図45 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅰ：1989年，上川郡東神楽町)

注) 棒グラフが実測値，折れ線グラフがモデルの計算値 (図50まで同じ)。

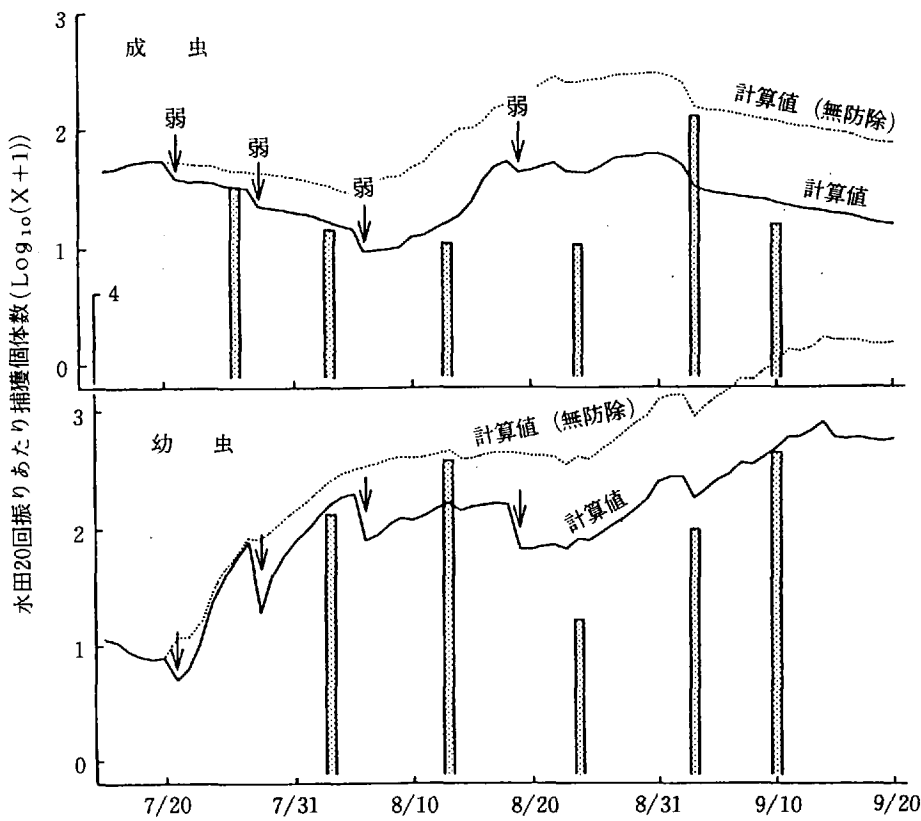


図46 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅱ：1990年，旭川市永山)

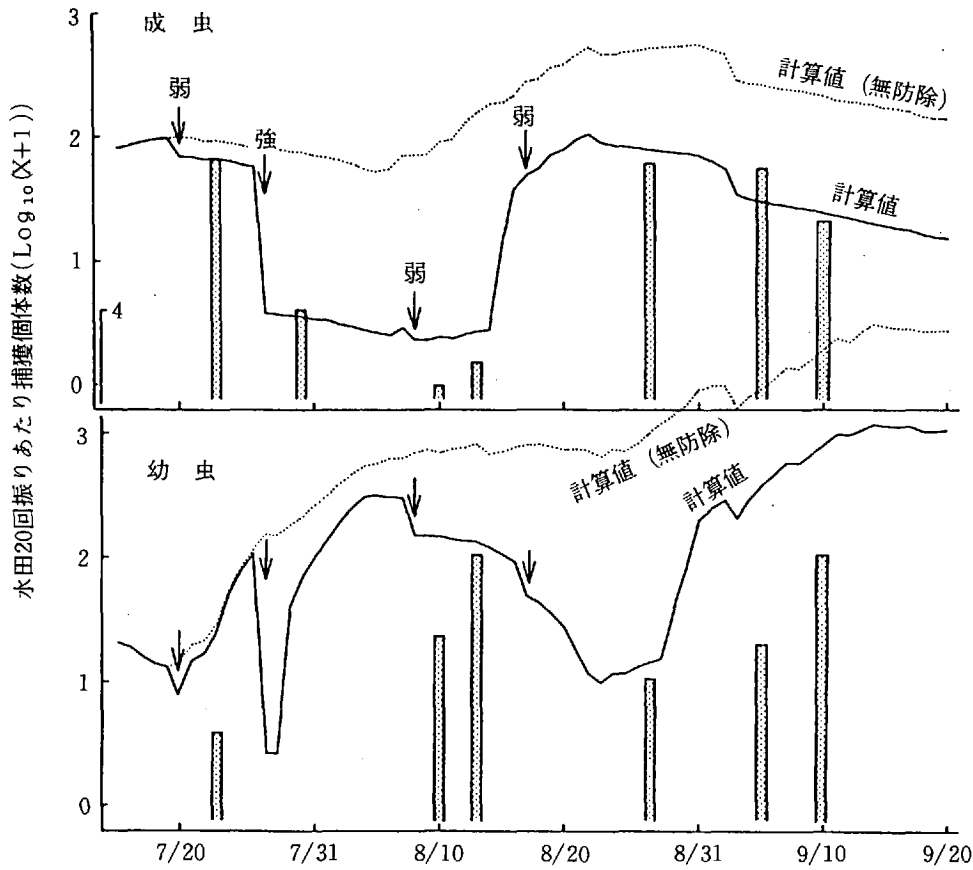


図47 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅲ：1990年，旭川市西神楽)

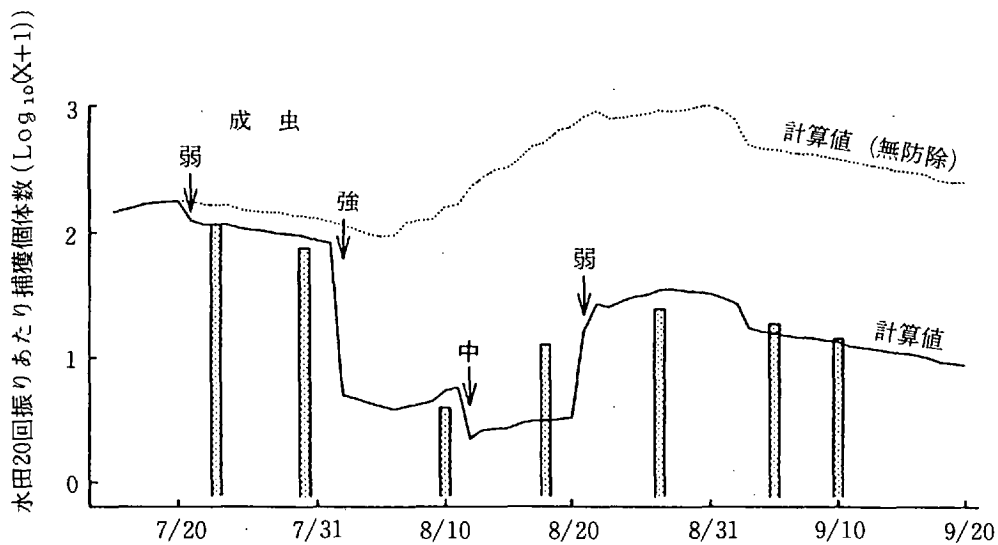


図48 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅳ：1990年，上川郡美瑛町下宇)

目の薬剤散布ころまで実測値よりやや高かったが、それ以降の発生密度は実測値の大きな増減の範囲内で推移した。

水田Ⅱ (図46)：殺虫力が「弱」の薬剤のみ4回散布され、発生密度の変動は比較的緩やかであった。密度の変動は実測値のほうがやや大きかったものの、成虫、幼虫ともにこの期間内に2回の発生ピークが現れたことは計算値、実測値とも共通であった。

水田Ⅲ (図47)：4回の薬剤散布が行われ、成虫の発生密度は2回目の散布後に極めて低くなったあと4回目の散布ごろに1回目の散布前の密度に回復したが、この経過は実測値、計算値ともに等しく、また両者の値は極めて近かった。幼虫の発生密度は、計算値にはこの期間に3回の大きな増減があった。実測値の幼虫密度からはこのような増減は読み取れなかったが、実測値と計算値に明らかな不一致はなかった。

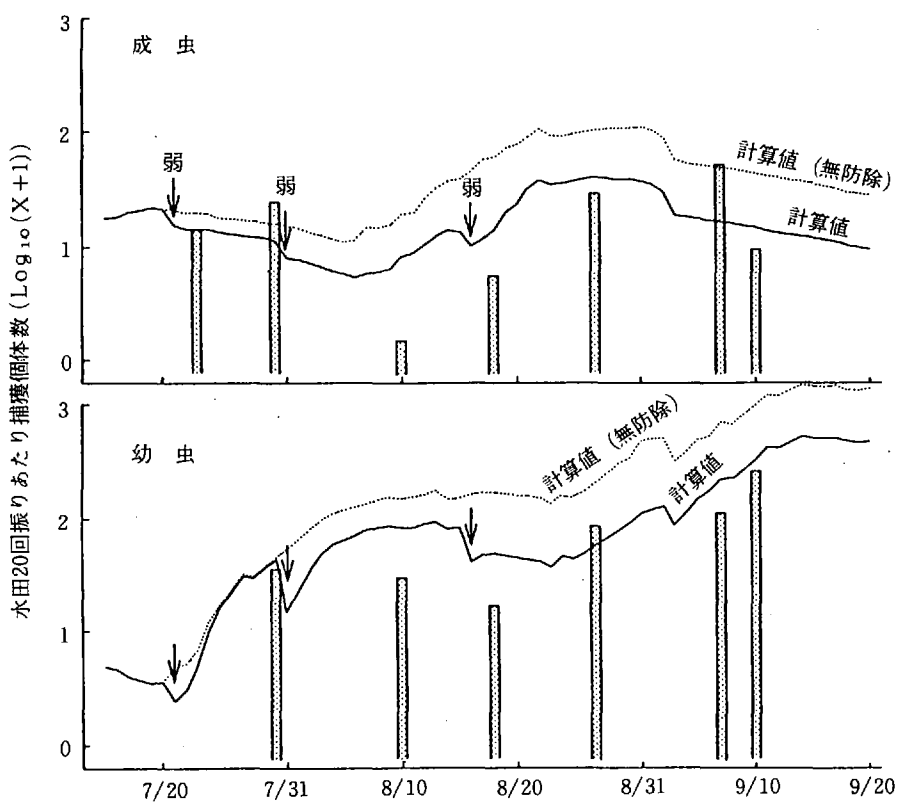


図49 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田V：1990年，上川郡東神楽町)

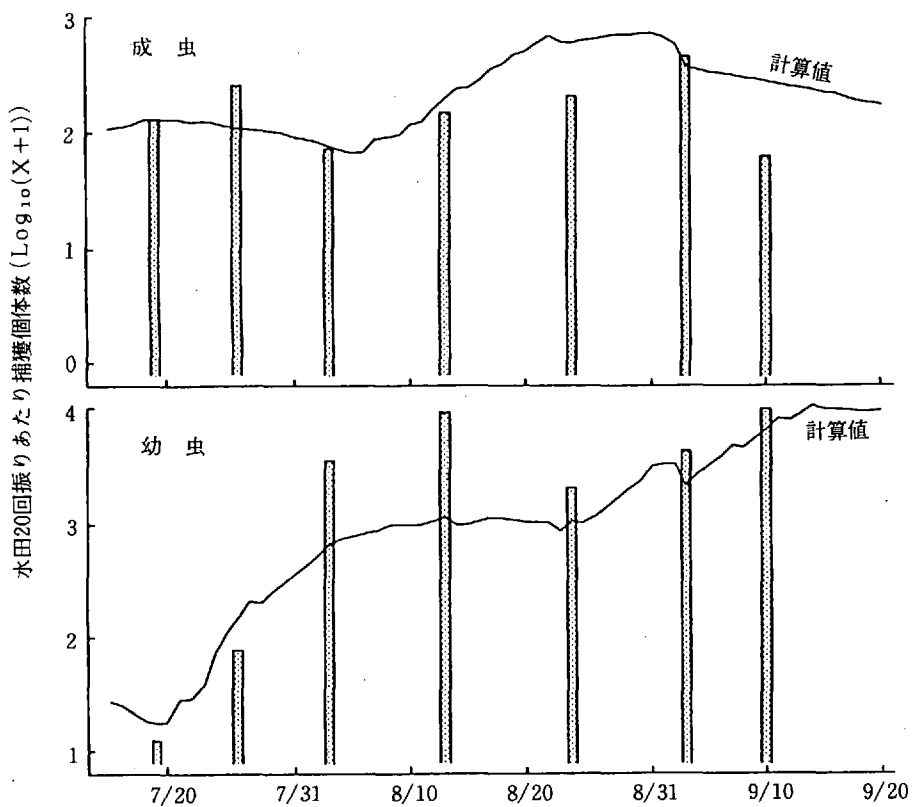


図50 殺虫剤の茎葉散布の効果に関するモデルの適合性 (水田VI：1990年，上川郡当麻町)

注) 無農業栽培農家のため，薬剤散布は行わなかった。

水田Ⅳ (図48) : 4回の薬剤散布が行われ、成虫の発生密度は2回目の散布後に低下し、4回目の散布ごろにある程度回復した。このような経過は実測値、計算値ともに等しく、また両者の値はほぼ等しかった。なお、この水田では幼虫の調査は行わなかった。

水田Ⅴ (図49) : 殺虫力が「弱」の薬剤のみ3回散布され、発生密度の変化は比較的緩やかであったが、成虫では7月下旬と8月下旬～9月上旬にピークが認められた。幼虫では8月20日前後にやや減少したが、それ以外は徐々に増加を続けた。これらの推移は実測値、計算値ともに同じであり、また両者の発生密度の差も小さかった。

水田Ⅵ (図50) : 薬剤散布が行われなかったため、発生密度は他の水田より高かった。成虫の発生密度は、7月下旬のピーク (第1世代成虫) のあと一旦減少したのち8月下旬～9月初めに最大の緩やかなピーク (第2世代成虫) を示した。幼虫の発生密度は、7月下旬に急激に増加したのち8月20日前後に増加を停止し、8月末から再び増加を始めた。これらの経過は実測値、計算値ともに同じであった。

以上のように、水田により薬剤散布の内容が異なり、また異なる年次や無防除水田を含んでいるため、発生密度の変動は水田ごとに様々な結果となったが、実測値と計算値の発生密度の変動を総体的に比較すると、両者はいずれの水田においてもほぼ一致し、明らかな不一致は認められなかった。

調査は、農家が行った薬剤の散布方法や散布時の気象条件が同一でないため、同一薬剤であっても同一の効果を得られるとは限らない条件のもとで行われた。また、調査日ごとの発生密度の変動は実測値のほうがやや大きかったことからみて、すくい取りによる実測値の調査精

度が十分ではなかった可能性もある。しかし、このような条件下の調査でありながら、多数の水田において満足すべき適合性が認められたことから、本モデルで設定した殺虫剤の茎葉散布に関するパラメータは妥当なものであると判断される。

(2) 殺虫剤の水面施用

1) 方法

1990年に旭川市西神楽の農家水田 (品種：ゆきひかり、移植：5月19日) において、5月29日に殺虫剤を水面施用した。浸透移行性と非浸透移行性の殺虫剤を1薬剤ずつ使用し、処理面積は1薬剤3.6a、反復区は設けなかった。薬剤の施用直前および施用後3回、イネ100～200株の払い落としを行って発生密度を調査し、これを実測値とした。調査終了後、本モデルにこの年の旭川市の気象条件と水面施用条件を与えて発生消長を計算し、実測値との適合性を検討した。

2) 結果

調査水田における実測値および本モデルの計算値を表22に示した。モデルの計算では、殺虫剤の施用直前の発生密度が実測値に近い値になるような初期個体群密度を与え、非浸透移行性薬剤については施用時の生存率が1%と10%の2通りを計算した。モデルで計算した無防除条件の発生時期は、調査水田の無処理とはやや異なったので、モデルにおける殺虫剤の施用日は、調査水田で観察された施用日 (5月29日) 時点の越冬世代成虫の侵入程度に合わせて、約半数の成虫が侵入した5月31日とした。その後の発生密度の比較も同一月日にはこだわらず、施用日、施用7日後、第1世代幼虫孵化直前および同3齢幼虫発生直前の時期について行った。

調査水田の発生密度はこの時期としては中程度であったが、記録された成虫数は少なく、そのために調査精度

表22 殺虫剤の水面施用の効果に関するモデルの適合性

区分	処 理	個 体 数 (頭/100株)							
		処 理 日 (実：5月29日) (計：5月31日)		処理7日後 (実：6月5日) (計：6月7日)		幼虫孵化直前 (実：6月12日) (計：6月11日)		3齢発生直前 (実：7月3日) (計：6月21日)	
		成虫	幼虫	成虫	幼虫	成虫	幼虫	成虫	幼虫
実測値	ETF粒剤 3kg/10a	1.0	0	0.5	0	1.5	0	2.0	24
	ETM・PHC粒剤 4kg/10a	3.5	0	3.0	0	0.5	0	1.0	98
	無処理	1.0	0	5.5	0	1.0	0	0	103
計算値	非浸透移行性薬剤-1%	2.0	0	1.9	0	2.2	0	1.7	27.4
	非浸透移行性薬剤-10%	2.0	0	2.2	0	2.4	0	1.8	30.1
	浸透移行性薬剤	2.0	0	2.7	0	2.3	0	0.9	40.5
	無防除	2.0	0	3.5	0	3.7	0	2.7	57.0

注) 1990年、旭川市西神楽。非浸透移行性薬剤名の末尾の数値は、処理時の生存率。処理日の個体数は処理直前の値。()内の実は実測値、計は計算値。

の低い試験となった。水田で観測された殺虫剤のおおよその効果は、非浸透移行性薬剤であるETF粒剤の場合、成虫を施用後に一旦減少させ、発生初期の第1世代幼虫を無処理の半数以下に抑えるものであった。浸透移行性薬剤であるETM-PHC粒剤は、成虫を発生後半になって抑えたが、発生初期の幼虫は無処理よりやや少ない程度だった。本モデルによる両薬剤の計算値も、実測値とはほぼ同じ傾向を示した。

以上のことから、殺虫剤の水面施用に関するパラメータの設定は現時点では妥当であると判断した。なお、非浸透移行性薬剤施用時の生存率は1%と10%を設定したが、計算値に現れた防除効果はどちらの生存率でもほぼ同じであったので、本モデルにおける非浸透移行性薬剤施用時の生存率は、本節以降、上記の中間の5%のみとした。

(3) 殺虫剤の育苗箱施用

1) 方法

1990年と1991年に、旭川市とその近郊の農家水田計3カ所において殺虫剤を育苗箱施用し、本モデルの適合性を調査した。モデル内では殺虫力をもとにパラメータを分けてA, B, Cの3タイプの薬剤を設定したが、これら3タイプを含む3~4種類の殺虫剤を各水田において使用した。イネの移植法は最も一般的な箱マット式中苗の機械移植、処理面積は1薬剤1.5~20.4aとし、反復区は設けなかった。

イネの移植後、各処理100~400株の払い落としを定期的に行って発生密度を調査し、これを実測値とした。調査終了後、本モデルにこの年の旭川市の気象条件と各水田の育苗箱施用条件を与えて発生消長を計算し、実測値との適合性を検討した。モデルの計算には、無処理の発生密度が実測値に近い値になるような初期個体群密度を与

えた。

2) 結果

越冬世代成虫は年間で最も発生密度が低く、その発生密度の実測値には十分な調査精度が得られなかった。しかし、A, B, Cの3タイプの殺虫剤はいずれの水田でも互いに異なった防除効果を示し、また、同じタイプの殺虫剤はいずれの水田でも大差のない防除効果を示した(表23~25)。すなわち、Aタイプの薬剤であるIM粒剤は、越冬世代成虫および第1世代幼虫の発生をよく抑え、特に越冬世代成虫の発生時期後半以降、成虫および幼虫の発生をごく低密度に抑えた。Bタイプの薬剤であるPHC粒剤およびOK粒剤は、水田によっては明瞭な傾向がつかみ難かったが、成虫および幼虫の発生密度を無処理の2/3ないし半数程度に抑えたと判断された。Cタイプの薬剤の場合、ETM-TCL粒剤の密度抑制効果はごく弱く、CTP水溶剤における発生密度は無処理よりむしろ高い値となった。

これら各タイプの薬剤の防除効果は、計算値においても同様であり、むしろ実測値にみられるような調査日ごとの大きな変動がなく、より明瞭に示された。水田によっては計算値より実測値の防除効果のほうがやや低くなったが、その原因は、実際の水田においては薬剤を処理した部分に周囲の無処理の水田から成虫が侵入し、防除効果が低下したためであると考えられた。幼虫の発生密度は、全処理で実測値のほうが高い日(水田Ⅲの7月4日)やその逆の日(水田Ⅱの6月26日)があったが、それらの日には無処理においても同様の差が認められたので、その差はモデルの発生時期が実際の発生時期に正確には適合していなかったことによって生じたと考えられた。

以上のことから、本モデルにおける殺虫剤の育苗箱施用に関するパラメータの設定は妥当であると判断した。

表23 殺虫剤の育苗箱施用の効果に関するモデルの適合性(水田Ⅰ:1990年,旭川市西神楽)

薬 剤	タイプ	処理日	実 測 値					計 算 値				
			5月29日	6月5日	6月12日	7月3日	7月10日	5月29日	6月5日	6月12日	7月3日	7月10日
			成虫	成虫	成虫	幼虫	幼虫	成虫	成虫	成虫	幼虫	幼虫
IM粒剤	A	-2	1.0	0.5	0	0	0	0.5	0.7	0.1	0	0
PHC粒剤	B	0	1.5	1.0	0	31	22	0.5	1.2	0.9	25	15
ETM-TCM粒剤	C	-1	0	3.5	1.5	43	80	0.9	2.7	2.6	71	50
ETM-TCM粒剤	C	0	0	2.5	2.5	45	44					
無処理	-	-	1.0	5.5	1.0	103	118	1.0	3.0	3.4	94	68

注) 品種ゆきひかり, 移植5月19日。成虫数と幼虫数は100株あたりの個体数, 処理日の0は移植当日, -の値は移植日よりその日数前を示す(表25まで同じ)。

表24 殺虫剤の育苗箱施用の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅱ:1991年, 旭川市西神楽)

薬 剤	タ イ プ	処 理 日	実 測 値				計 算 値				
			5月29日	6月7日	6月26日		5月29日	6月7日	6月26日		
			成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫	成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫	
IM粒剤	A	0	1.3	1.3	0	0	}	1.0	0.8	0.0	2
IM粒剤	A	-2	1.3	0.3	0	0		成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫
PHC粒剤	B	0	2.3	3.5	1.0	22	}	1.1	2.5	0.6	51
OK粒剤	B	0	4.0	2.5	0	30		成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫
CTP水溶剤	C	0	4.0	7.5	4.0	95		1.9	5.5	2.2	123
無処理	-	-	2.5	3.9	3.0	16		2.0	6.4	3.4	154

注) 品種きらら397, 移植5月13日。

表25 殺虫剤の育苗箱施用の効果に関するモデルの適合性 (水田Ⅲ:1991年, 上川郡美瑛町旭)

薬 剤	タ イ プ	処 理 日	実 測 値					計 算 値				
			6月3日	6月15日	6月21日	6月26日	7月4日	6月3日	6月15日	6月21日	6月26日	7月4日
			成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫	幼 虫	成 虫	成 虫	成 虫	幼 虫	幼 虫
IM粒剤	A	-2	1.3	0.5	0	0	0	0.8	0.0	0.0	1	0
PHC粒剤	B	0	3.5	4.0	1.0	16	125	1.4	0.6	0.5	29	27
CTP水溶剤	C	0	4.0	5.8	0.5	110	273	2.7	2.1	1.6	70	68
無処理	-	-	2.0	6.0	0.5	50	132	3.0	2.8	2.4	88	87

注) 品種きらら397, 移植5月22日。

(4) 小 括

本種に対して行われる4種類の薬剤施用法, すなわち畦畔防除, 育苗箱施用, 茎葉散布および水面施用のうち, 畦畔防除を除く3種類の施用法について本モデルが計算した防除効果は, 全般的に実測値との適合性が高く, モデルに組み込んだこれらの防除に関する諸パラメータはおおむね妥当であると判断された。

薬剤防除の効果は, 施用法, 使用薬剤, 処理時期によっ

て異なるが, 本モデルではそれぞれに対応するパラメータを含んでいることから, 水田で実際に防除試験を行うことなく, シミュレーションによって簡便に防除効果が推定できる。また, 水田では高精度の試験が難しい多数の処理の同時比較を行うことや, 同一水田で2回以上の施用をした場合の効果を推定することもできるので, 本モデルによって本種に対する最適な薬剤防除法を検討することが可能であると考えられる。