

第5章 個体群動態モデルによるヒメトビウンカの発生予測と防除効果予測

第1節 個体群動態モデルによる発生予測

個体群動態モデルLASTRISの主な活用法は、前章に示したように、次の2点にある。①発生予察田のような無防除水田におけるヒメトビウンカの発生をシミュレーションし、その結果を本種の発生予察に利用する、②様々な薬剤防除の効果を推定することによって本種に対する薬剤防除の改善を図る。まず、本節では前者の活用法の例として、無防除条件のもとで本種の様々な発生のシミュレーションを行った。

第1項 仮想気象条件における発生予測

(1) 方法

仮想の気象条件を使ってモデルで本種の発生消長を計算し、各世代の成虫の発生ピーク時期とその発生密度、および秋期の畦畔上の越冬幼虫密度について、気象の平年値を使って計算した時と比較した。気象条件は、旭川市の平年値およびこれをもとにした仮想値を使用した。

なお、本モデルには密度に依存した発生変動要因が含まれていないため、異なる初期個体群密度を与えても、計算結果の発生時期は変化せず、発生密度も初期個体群密度に比例した値となる。従って、本項の計算では初期個体群密度には任意の一つの値のみを与え、発生密度については、異なる気象条件下での変化率で表現した。

(2) 結果

1) 気温が発生時期に及ぼす影響

成虫の発生ピーク日は気温の影響を受け、高温で早まり低温で遅延したが、影響の程度は時期や世代によって異なった(表26)。

4月から8月までのいずれか1カ月の気温が平年より2℃高いかまたは低いと、その後に発生する世代の成虫の発生ピーク日は概して1半旬程度早まるかまたは遅くなった。世代別に見ると、影響は越冬世代において最も大きく表れ、ついで第1世代、第2世代の順であり、第2世代には高温の影響がほとんど表れなかった。また、

表26 気温が平年と異なる仮想気象条件下における各世代成虫の発生時期

気 象 条 件	発生ピーク日の遅速日数		
	越冬世代 成 虫	第1世代 成 虫	第2世代 成 虫
4月の平均気温が平年より2℃高い以外は平年値	-3	±0	±0
5月	-9	±0	±0
6月	-5	-4	±0
7月	-	-2	±0
8月	-	-	-2
4月の平均気温が平年より2℃低い以外は平年値	+3	+1	±0
5月	+6	+5	+1
6月	+6	+6	+4
7月	-	+9	なし
8月	-	-	+6
4～8月の平均気温が平年より2℃高い	-13	-13	-6
〃 1℃高い	-7	-4	-2
〃 1℃低い	+5	+11	なし
〃 2℃低い	+13	+18	なし

注) 遅速日数は、気象が平年値の時と比較して早い、+は遅いことを示し、「なし」は発生ピークがなかったことを示す。

時期別に見ると、4月の気温の影響は5月以降の影響より小さかったが、この原因は、4月には最高気温が本種の発育零点を下回る気温の日が多いため、2℃の違いが発育に実質的な影響を与えない日もあったためと考えられる。

4月から8月まで連続して平年より1～2℃高い場

合、越冬世代および第1世代成虫の発生ピーク日は平年より4～13日早まり、逆に1～2℃低い場合は5～18日遅くなった。第2世代成虫への影響は他の世代とは異なり、このような高温での発生の早まりは2～6日であったが、低温では発生ピークが消失し、成虫密度は第1世代成虫の発生後、秋まで緩やかに低下を続けて終息した。

2) 気温が発生密度に及ぼす影響
発生密度は、高温では増加し低温では減少する傾向が

明瞭に現れたが、その程度は世代によって異なった（表27）。

表27 気温が平年と異なる仮想気象条件下における各世代成虫および秋期畦畔越冬幼虫の発生密度

気 象 条 件	発生密度の変化率			
	越冬世代 成 虫	第1世代 成 虫	第2世代 成 虫	秋期畦畔 越冬幼虫
4月の平均気温が平年より2℃高い以外は平年値	1.01	1.12	1.33	1.14
5月	1.07	1.17	2.14	1.51
6月	1.03	0.94	2.08	1.50
7月	—	1.16	2.86	1.90
8月	—	—	1.87	2.19
4月の平均気温が平年より2℃低い以外は平年値	0.99	0.95	0.89	0.96
5月	0.98	0.86	0.50	0.83
6月	0.97	0.98	0.40	0.85
7月	—	0.96	なし	0.85
8月	—	—	0.60	0.65
4～8月の平均気温が平年より2℃高い	1.12	1.21	8.86	17.21
〃 1℃高い	1.05	1.11	4.02	3.98
〃 1℃低い	0.97	0.88	なし	0.62
〃 2℃低い	0.92	0.80	なし	0.29

注) 発生密度の変化率は、ピーク時（越冬幼虫は10月末日）の密度について、気象が平年値の時と対比した倍率を示し、「なし」は発生ピークがなかったことを示す。

4月から8月までのいずれか1カ月の気温に平年比2℃の高低差があると、その後に発生する各世代成虫のピーク時の密度は、気温が平年値の時の密度を基準にして、越冬世代が0.97～1.07倍、第1世代が0.86～1.17倍、第2世代が0.40～2.86倍の開きとなり、後の世代ほど大きな影響を受けた。ただし、秋期の畦畔越冬幼虫密度は、平年を基準にして0.65～2.19倍の開きとなり、第2世代成虫における影響より小さかった。

4月から8月まで連続して平年比1℃の高低差がある場合、越冬および第1世代の成虫密度に及ぼす影響は、この期間のいずれか1カ月のみに2℃の高低差がある場合とはほぼ等しく、連続して平年比2℃の高低差がある場合は、それより影響がやや大きかった。このような連続した高温や低温が第2世代成虫および秋期畦畔越冬幼虫の密度に及ぼす影響は、越冬および第1世代の成虫に及ぼす影響より顕著に大きく、また1カ月のみ2℃の高低

表28 降水量が平年と異なる仮想気象条件下における各世代成虫および秋期畦畔越冬幼虫の発生時期と発生密度

気 象 条 件	越冬世代成虫		第1世代成虫		第2世代成虫		秋期畦畔 越冬幼虫密度
	時期	密度	時期	密度	時期	密度	
4月の降水量が平年の0%である以外は平年値	±0	1.18	±0	1.18	±0	1.18	1.18
5月	±0	1.20	±0	1.20	±0	1.20	1.20
6月	+2	1.20	+1	1.20	±0	1.18	1.21
7月	—	—	±0	1.29	±0	1.29	1.26
8月	—	—	—	—	±0	1.46	1.45
4月の降水量が平年の200%である以外は平年値	±0	0.85	±0	0.85	±0	0.85	0.85
5月	±0	0.83	±0	0.83	±0	0.83	0.83
6月	±0	0.84	±0	0.84	±0	0.85	0.82
7月	—	—	+1	0.77	±0	0.77	0.79
8月	—	—	—	—	±0	0.68	0.69
4～8月の降水量が平年の 0%	+2	1.70	+4	2.29	±0	3.13	3.12
〃 50%	+2	1.30	+1	1.50	±0	1.77	1.77
〃 150%	±0	0.77	±0	0.67	±0	0.56	0.56
〃 200%	±0	0.59	±0	0.45	±0	0.31	0.32

注) 各世代成虫は発生ピークの時期と密度、越冬幼虫は10月末日の密度について、降水量が平年値の場合と比較して示した。時期は遅延日数（－は早い、＋は遅い）、密度は倍率を示す。

差がある場合の影響よりも明らかに大きかった。

3) 降雨が発生時期と発生密度に及ぼす影響

降水量は日によって全く異なり、また降雨のない日も実際多いため、日変化の少ない平年値の降水量のような気象は実際には存在しないが、降水量の平年値を基準として差を考察することは可能である。気温の影響を検討した時と同様に、平年値を基準とした仮想の降雨条件が発生消長に及ぼす影響を検討した。

その結果、発生時期は降水量の影響をほとんど受けなかったが、発生密度には少雨で増加し多雨で減少する傾向が明瞭に現れた(表28)。モデル内では、降雨の直接の効果として成虫および幼虫の死亡のみを設定したため、その効果が発生密度に単純に現れたと考えられる。具体的に計算値を見ると、4月から8月までのいずれか1カ月のみ降水量が平年値の0~200%であった場合、その後に発生する各世代成虫のピーク時の密度は、降水量が平年値の時の密度を基準にすると、越冬世代が0.83~1.20倍、第1世代が0.77~1.29倍、第2世代が0.68~1.46倍の開きとなり、後に発生する世代ほど大きな影響を受けた。また、秋期の畦畔越冬幼虫密度は、平年値を基準にして0.69~1.45倍の開きとなった。4月から8月まで連続して降水量が平年比50~150%であった場合の影響は、この間のいずれか1カ月のみ降水量が0~200%であった場合より大きかった。

第2項 吸汁害発生密度の事前予測

(1) 方法

本種による吸汁害は、これまでの事例ではすべて第2世代成虫期の加害によって起こっている。實際上、吸汁害の発生を1カ月程度前、すなわち第1世代成虫発生期頃に察知できれば、被害が生じる以前に時間的余裕をもってその防止対策を講じることができる。そこで、第2世代成虫が吸汁害を起こすほどの高密度に達する発生消長を本モデルで計算し、その発生消長における第1世代成虫発生期の特徴の把握を試みた。

イネの収量における病虫害の被害許容水準は、防除コストといわゆる収量誤差に基づいて、一般に減収率3~5%とされている(釜野, 1983)。本種の薬剤防除は、アカヒゲホソミドリメクラガメやいもち病との同時防除をすることによって、1病害虫あたりの防除コスト低減が可能である。また、本種はイネの穂を好んで吸汁するため、吸汁害は収量へ直接結びつきやすく、釜野(1983)のいう収量誤差、すなわち防除効果や被害量のうち通常の試験では収量に有意差となって表れない部分、は比較的少ない。従って、本項では上記の範囲の下限である減収率3%を本種の被害許容水準とした。一方、記録的な

多発生をした1985年は、第2世代成虫の発生ピーク時期に5回振りのすくい取りで成虫728.5頭と幼虫12,035.0頭が捕獲され、イネは22.5%の減収となった(八谷・秋山, 1989)。本種の発生密度と減収率とは正比例すると仮定し、減収率3%に対応する発生密度を計算すると、20回振りあたりの捕獲個体数は成虫約390頭と幼虫約6,400頭となる。実際に発生する成虫と幼虫の個体数の比率は一定でないので、ここでは煩雑となるのを避けて成虫数に着目し、吸汁害が起こる本種の臨界密度を20回振りあたり捕獲成虫数390頭とした。

第2世代成虫の発生密度は、①第1世代成虫の発生の遅速、②第1世代成虫の発生密度、および③第1世代成虫発生期以降の気象条件によってほぼ決定されるので、第2世代成虫が発生ピーク時に20回振りあたり390頭の密度に達する発生消長におけるこれら3者の組み合わせを本モデルによって検討した。モデルにおける第1世代成虫の発生時期は、平年値の気温に一定値を加えるかまたは減じて作った気象条件を与えて前後させ、その発生密度は、初期個体群密度を使って調整した。また、第1世代成虫発生期以降の気象条件としては、気温の平年値に一定値を加減したものを与えた。降水量は全て平年値を使った。なお、気象の平年値は旭川市のものを使用した。

(2) 結果

第2世代成虫が吸汁害を起こす臨界密度(20回振りあたり390頭)に達する発生消長における第1世代成虫の発生密度は、その発生時期が早い場合ほど低かった。第1世代成虫発生ピーク以降の気温が平年並みの場合を検討すると、第1世代成虫の発生が平年より10日早い時は、そのピーク時の密度が89頭(20回振りあたり、以下同じ)、5日早い時は115頭、平年並みの時は372頭で第2世代成虫は吸汁害を起こす臨界密度に達した。しかし、発生が平年より5日遅い時は、第1世代成虫期以降の気温がどう経過する場合でも、第1世代成虫自体が吸汁害を起こす臨界密度を超えなければ第2世代は吸汁害を起こす密度に達しなかった。

また、第2世代成虫が吸汁害を起こす発生消長における第1世代成虫の発生密度は、第1世代成虫発生期以降の気温が高い場合ほど低かった。第1世代成虫の発生時期が平年並みの場合を検討すると、その後の気温が平年より2℃高い時は第1世代成虫のピーク時の密度が218頭、1℃高い時は289頭、平年並みの時は372頭の時に第2世代成虫が吸汁害を起こす臨界密度に達した。しかし、気温が平年より1℃低い時は、第1世代成虫において吸汁害を起こすような密度を設定しなければ、第2世代成虫の吸汁害は生じえないことが判った。第1世代

表29 第2世代成虫が吸汁害を起こす発生密度に達する第1世代成虫の発生条件

発 生 条 件			結 果		
第1世代成虫 の発生ピーク 日の遅速	第1世代成虫 のピーク時の 発生密度	第1世代成虫 発生ピーク 以降の気温	(第2世代成虫発生ピーク時の状況)		
日	頭	℃	成虫の発生 ピーク日	成虫 密度	幼虫 密度
平年比-10	56	平年比+2	8. 28	390	946
	71	+1	8. 28	〃	887
	89	±0	8. 31	〃	696
	115	-1	9. 2	〃	661
平年比-5	73	+2	8. 28	390	796
	91	+1	8. 30	〃	802
	115	±0	9. 2	〃	881
	141	-1	9. 2	〃	815
平年比±0	218	+2	9. 2	390	2256
	289	+1	9. 1	〃	2394
	372	±0	9. 3	〃	2439
	458	-1	9. 8	〃	2485
平年比+5	421	+2	9. 1	390	3961
	470	+1	9. 2	〃	3812
	580	±0	9. 4	〃	3717
	643	-1	9. 10	〃	3450

注) 時期の遅速の-は早, +は遅を示す。発生密度はすくい取りの20回振りあたりの捕獲個体数を示した。

成虫期に吸汁害が生じた事例はこれまでにないので, このような場合を想定する必要はない。従って, 第1世代成虫の発生時期が平年より遅い場合や, 平年並みの発生時期でもその後の気温が平年以下の場合は, 第2世代成虫期の吸汁害はないと言える。

モデルの計算を概括すると, 第2世代成虫期の吸汁害発生を警戒すべき第1世代成虫の状況とは, その発生時期が平年並みの場合にはピーク時の密度が20回振りでおおよそ200頭以上の時であり, その発生が平年より早くかつ高温が連続すると予想される場合は, おおよそ50頭以上の発生密度の時でも警戒が必要であると考えられる。

第2節 個体群動態モデルによる最適な薬剤防除法の推定

第1項 殺虫剤の茎葉散布

(1) 越冬世代成虫の発生時期における殺虫剤の茎葉散布の効果

1) 方 法

越冬世代成虫の発生時期に殺虫剤の茎葉散布を1回行った時の本種の発生消長を本モデルで計算し, 散布時期別および使用薬剤別に防除効果を比較した。気象条件は旭川市の平年値, 初期個体群密度は一定値とし, 無散布の場合の発生密度と比較して防除効果を評価した。殺虫剤の散布時期は越冬世代成虫の水田侵入開始直前であ

る6月5日から第1世代の若齢幼虫期である7月5日までの期間とし, 散布薬剤は殺虫力が「強」, 「中」, 「弱」の3種類とした。モデルでは, 薬剤による死亡は散布直後に起こり, 残存した個体や散布後に侵入した個体とその後の個体群を形成する。従って, 散布直後は薬剤の持つ殺虫力がそのまま各发育段階の個体数の減少に表れるのみであるため, 本項ではその時点での防除効果の検討を省き, 第1世代成虫のピーク時の発生密度を対象に, ある程度長期的な防除効果の評価を行った。

2) 結 果

越冬世代成虫期における殺虫剤の茎葉散布が第1世代成虫の発生密度に及ぼす効果は, 越冬世代成虫の水田侵入開始直後の散布から現れ, 侵入が終了する直前, すなわち水田における越冬世代成虫の発生密度がピークとなる直前における散布で最も高くなった。さらに, その直後の第1世代幼虫の孵化開始時期から第1世代卵密度のピーク期にかけた散布で効果は低くなり, 7月の第1世代幼虫の発生時期に入った散布で再び効果は高まった(図51)。

このように防除効果は散布の時期によって異なったが, いずれの時期の散布でも防除効果そのものは概して低く, 防除効果が最高となった6月20日の散布においても, 第1世代成虫密度の対無散布比は, 殺虫力が「強」の薬剤で51%であり, 殺虫力が「弱」の薬剤では83%に抑えただにすぎなかった。防除効果が低い原因は, 早い時期の

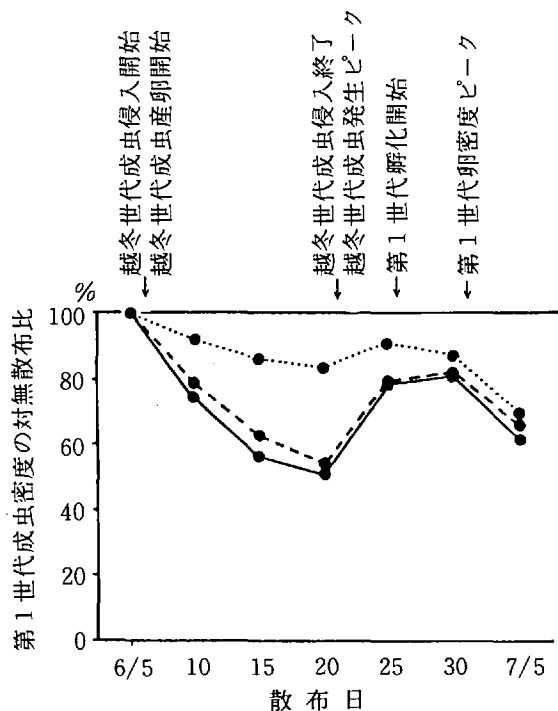


図51 越冬世代成虫の発生時期における殺虫剤の茎葉散布が第1世代成虫の発生密度に及ぼす効果

注) 散布回数は1回。計算に用いた第1世代成虫の発生密度はピーク時の密度。実線：殺虫力が「強」の薬剤、破線：同殺虫力「中」、点線：同殺虫力「弱」。

散布では散布後に新たな成虫の侵入があり、遅い時期の散布ではすでに産卵された卵が生存することにあると思われる。散布は1回のみであり、茎葉散布に用いる薬剤の特徴である成虫、幼虫に対する持続性の短い殺虫力のみでは、防除効果に限界があるものと考えられる。

このように本モデルに基づく、越冬世代成虫に対する殺虫剤の散布適期は、越冬世代成虫の水田侵入終了直前（水田内における越冬世代成虫の密度がピークとなる直前）の短い期間であると判断される。本モデルでは、越冬世代成虫の水田侵入を単純に設定している。すなわち、各個体は産卵前期間終了時に水田に侵入し、侵入後の水田間や水田外への移動はないとしている。実際の水田では、成虫の侵入は本モデルの設定より長い期間にわたって不規則に起こると考えられるので、散布適期は本モデルで示されたより広く、かつ防除効果は本モデルで示されたよりむしろ低いと考えられる。従って、殺虫剤の茎葉散布で十分な防除効果をあげるには、水田への成虫の侵入状況を把握したうえで適切な時期に複数回の散布をする必要があると考えられる。

(2) 夏期における殺虫剤の茎葉散布の効果

1) 方法

夏期の第1世代から第2世代成虫の発生時期に殺虫剤の茎葉散布を1回行った時の本種の発生消長を本モデル

で計算し、散布時期別および使用薬剤別に防除効果を比較した。気象条件は旭川市の平年値、初期個体群密度は一定値、散布時期は第1世代幼虫の発生時期である7月15日から第2世代成虫の発生ピーク直前の8月25日までの期間とし、散布薬剤は殺虫力が「強」、「中」、「弱」の3種類とした。防除効果の評価は、本項(1)におけると同じ理由で散布直後には行わず、第2世代成虫のピーク時の発生密度および10月末の畦畔の越冬幼虫密度について、無散布の場合と対比することで行った。

2) 結果

第2世代成虫の発生密度で評価した防除効果は、殺虫力が「強」および「中」の薬剤では全般に高かったが、第1世代成虫密度のピーク時期から第2世代卵密度のピーク時期にかけての散布は、効果が顕著に低下した。効果の低下原因は、この時期に茎葉散布薬剤の影響を受けない卵が多数存在していることにあると考えられる。殺虫力が「弱」の薬剤の防除効果は全般に低かった（図52）。

収穫後の畦畔の越冬幼虫密度で評価した防除効果は、第2世代成虫密度で評価した防除効果とは異なるパターンを示し、第2世代の卵が多数存在する時期の散布でも防除効果の低下は認められず、最も効果の高い散布時期は、第1世代成虫密度がピークに達する約1週間前となった（図53）。第2世代の卵が多数存在する時期の散

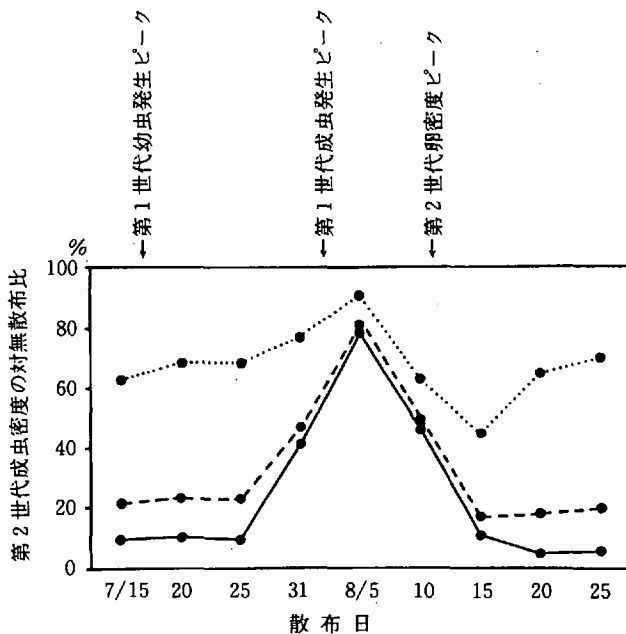


図52 夏期における殺虫剤の茎葉散布が第2世代成虫の発生密度に及ぼす効果

注) 散布回数は1回。計算に用いた第2世代成虫の発生密度はピーク時の密度。実線：殺虫力が「強」の薬剤、破線：同殺虫力「中」、点線：同殺虫力「弱」。

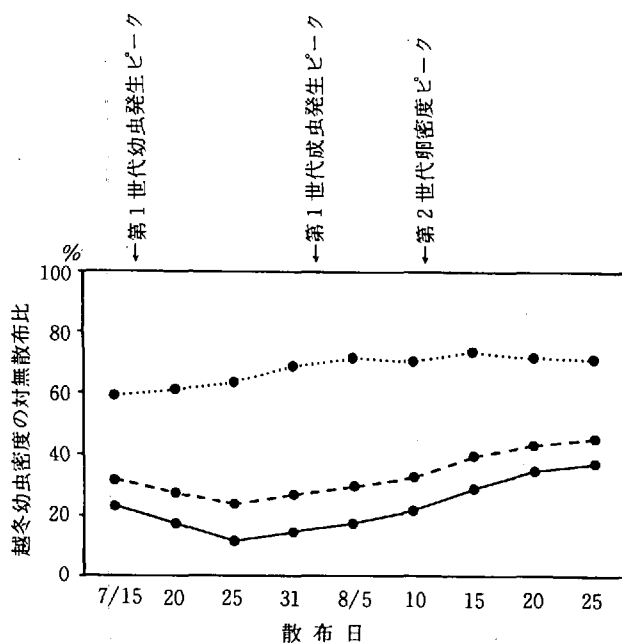


図53 夏期における殺虫剤の茎葉散布が秋期畦畔越冬幼虫の発生密度に及ぼす効果

注) 散布回数は1回。計算に用いた越冬幼虫密度は10月末日のもの。実線：殺虫力が「強」の薬剤、破線：同殺虫力「中」、点線：同殺虫力「弱」。

布で防除効果が低下しないのは、この時期に卵として生存した個体の多くが越冬幼虫とはならず第2世代成虫として羽化し、さらにこの第2世代成虫が産下した第3世代の個体は越冬直前までに越冬可能な齢期の幼虫に達せず死滅するためと考えられる。従って、第2世代幼虫の休眠率が高く、越冬幼虫になる率が高い場合、畦畔の越冬幼虫密度に表れる防除効果は、第2世代成虫に表れる効果と同様に、卵が多く存在する時期の散布ではその前後の時期の散布より劣ることになると考えられる。

このように本モデルから考えられる夏期の殺虫剤の散布適期は、防除の主な目的が第2世代成虫による吸汁害の防止にあるのか次年度の発生につながる越冬幼虫の密度抑制にあるのかによって異なる。また、これらの両立を目的とすると、殺虫剤の散布適期は、気象条件が平年並みの場合、第1世代成虫の発生ピークの約1週間前、すなわち第1世代成虫の発生初期が最適であり、その後の第1世代成虫の発生ピーク期から第2世代卵密度のピーク期にかけての散布は効果が劣るので不適当であると言える。

(3) 殺虫剤の茎葉散布の散布間隔と防除効果の関係

1) 方法

殺虫剤の茎葉散布を2～14日の間隔で2回行った時の本種の発生消長を本モデルで計算し、散布間隔による防

除効果の違いを検討した。散布時期は、本項(2)に述べた夏期における殺虫剤の茎葉散布において、比較的安定した高い効果が示された時期と第2世代成虫に対して効果が顕著に劣った時期とし、前者の時期については8月20日を挟んでその前後に1回目と2回目の散布日を配し、2回の散布の中間が8月20日になるようにした。後者の時期については、同様に8月5日を中心にして2回の散布日を配した。散布薬剤は殺虫力が「中」の薬剤とし、その他の計算条件および防除効果の評価は、(2)と同じとした。

2) 結果

比較的防除効果の安定している8月20日前後における2回の茎葉散布は、第2世代成虫の発生密度に対して高い効果があり、その中では8日間隔の散布が最も効果が高かったが、散布間隔の違いによる効果の差はわずかであった。一方、この時期の茎葉散布が秋期の畦畔の越冬幼虫密度に及ぼす効果は、2～10日間隔の範囲では間隔が開くほど明らかに高まったが、10日以上散布間隔では10日間隔とほぼ同じ効果であった(図54)。10日以内の散布間隔において散布間隔が開くほど防除効果が高まるのは、本種の卵期間がこの時期の気温においては8～10日前後であるため、1回目の散布時を卵態で過ごしたのち孵化した幼虫を2回目の散布で効率的に殺すことがで

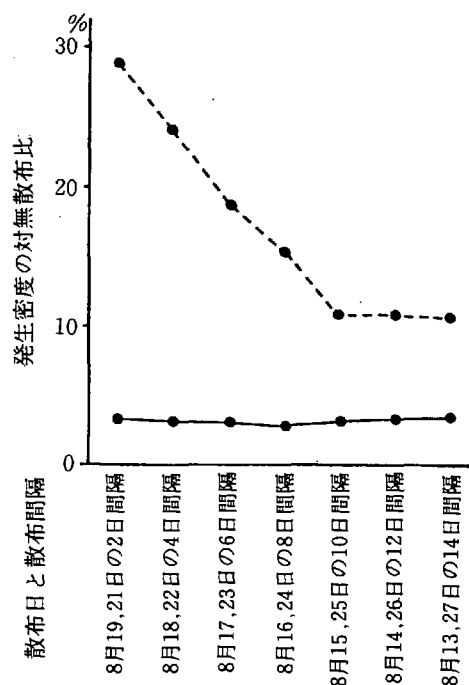


図54 殺虫剤の2回の茎葉散布の散布間隔と防除効果－1

注) 散布は8月20日を挟んで2回行った。散布薬剤の殺虫力は「中」。実線：第2世代成虫のピーク時の発生密度、破線：10月末の畦畔越冬幼虫密度。

きたためであると考えられる。また、10日以上散布間隔で防除効果が高まらないのは、卵期間より長い散布間隔では、このような理由での防除効果の一層の向上が期待できないことによると考えられる。

第2世代成虫に対して防除効果が劣る8月5日前後における2回の茎葉散布は、第2世代成虫密度に対しては、その散布間隔が開くほど散布日が適期に近づくため効果が高まったが、10日以上の間隔では散布日が適期の中に入るため散布間隔の違いによる効果の差は小さかった。一方、この時期の茎葉散布が秋期の畦畔越冬幼虫密度に及ぼす効果は、第2世代成虫の場合とは異なって、10日間隔の効果が最も高かったが、散布間隔の違いによる効果の差は小さかった(図55)。

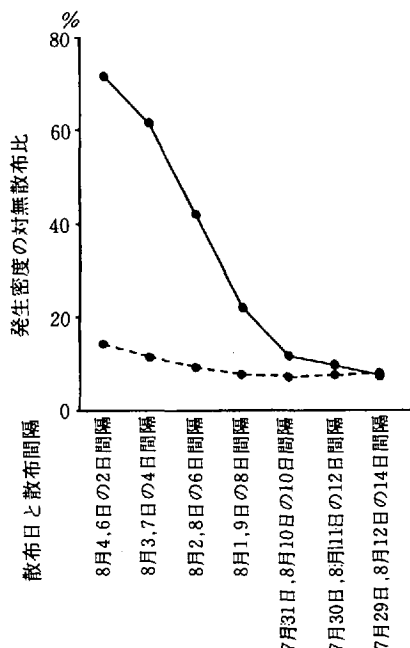


図55 殺虫剤の2回の茎葉散布の散布間隔と防除効果－2

注) 散布は8月5日を挟んで2回行った。散布薬剤の殺虫力は「中」。実線：第2世代成虫のピーク時の発生密度、破線：10月末の畦畔越冬幼虫密度。

以上のような本モデルによる計算結果を総合すると、夏期における殺虫剤の茎葉散布の適当な散布間隔は8～10日前後であると考えられる。しかし、実際の水田では、散布後に周辺から成虫が移入するなど本モデルには組み込まれていない不規則な成虫の移動があるので、モデルの計算で効果の高かった8～10日間隔よりやや短い散布間隔のほうが実際には最も高い防除効果が期待できるだろう。従って、現在慣行的に行われている茎葉散布の1週間程度の散布間隔は、本モデルから類推しても、ほぼ妥当なものであると考えられる。

(4) 第2世代成虫の多発生が予想される時の殺虫剤の茎葉散布の効果

1) 方法

イネに吸汁害を起こす第2世代成虫の発生密度は、通常8月下旬から9月上中旬に最高となる。水田での夏期の慣行的な薬剤防除は、アカヒゲホソミドリメクラガメを主な対象として7月下旬のイネの出穂期前後から8月中旬にかけて茎葉散布で数回行われる。そこで、散布薬剤や散布時期を最適化することによって、慣行的な薬剤散布で本種の吸汁害を防止する可能性を本モデルで検討した。

吸汁害は、すでに述べたように、第1世代までの発生密度が高いことに加えて発生時期が早く気温が高い時に発生しやすい。そこで本モデルの計算に必要な気象条件は、過去に観測された吸汁害発生に好適な気象条件、すなわち旭川市の1979～1992年の14年間のうち本種の年間増殖率が最高であった1984年、広範囲に吸汁害が発生した1985年および年間の発育有効積算温度が最高であった1990年の計3年のデータを使った。薬剤散布は第1世代成虫の発生密度がピークに達する直前(イネの出穂始め頃)から1週間間隔で1～5回とした。使用薬剤は、殺虫力が「強」、「中」、「弱」の薬剤を連用または組み合わせで使用することとした。すでに第1節の第2項で計算したように、第2世代成虫による吸汁害の発生を警戒すべき第1世代成虫の発生密度は50～200頭(すくい取り20回振りあたり捕獲個体数)以上である。このことから、モデルの初期個体群密度には、無散布の場合に第1世代成虫が発生ピーク時に20回振りあたり100頭となるような密度を与えた。防除効果の評価は、第2世代成虫のピーク時の密度を無散布の場合と対比するとともに、吸汁害を起こす第2世代成虫密度(20回振りあたり390頭、第1節第2項参照)とも対比することで行った。

2) 結果

1回のみの散布の防除効果は、殺虫力が「強」の薬剤でも不安定で、第2世代成虫の発生密度が対無散布比で50%を超えることがあり、吸汁害を起こす密度(20回振りあたり390頭)を超えることが少なかった。同一薬剤の2回の散布は、殺虫力が「強」の薬剤の場合、第2世代成虫の発生密度を対無散布比1.4～7.3%まで減少させ、殺虫力が「中」の薬剤も7.3～15.5%まで減少させたが、殺虫力が「弱」の薬剤の2回の散布は31.2～53.2%で、第2世代成虫が吸汁害を起こす密度に達することがあり、不十分な効果であった。殺虫力が「中」の薬剤は、3回散布すると対無散布比1.2～5.2%と十分な効果をあげたが、殺虫力が「弱」の薬剤は5回散布しても10.2～

表30 第2世代成虫の多発生に好適な気象条件における夏期の殺虫剤の茎葉散布の効果

散布回数	使用薬剤と散布時期					第2世代成虫の発生密度		
	①	②	③	④	⑤	1984年の気象	1985年の気象	1990年の気象
0	—	—	—	—	—	1300.1(100.0)	204.6(100.0)	554.2(100.0)
1	強	—	—	—	—	181.8(13.9)	131.6(64.3)	44.1(8.0)
	—	—	強	—	—	754.5(58.0)	8.8(4.3)	373.2(67.3)
	—	—	—	—	強	555.6(42.7)	— (—)	44.1(8.0)
	中	—	—	—	—	327.3(25.2)	127.5(62.3)	119.2(21.5)
	—	—	中	—	—	798.3(61.4)	33.5(16.4)	383.4(69.2)
	—	—	—	—	中	555.6(42.7)	— (—)	95.9(17.3)
	弱	—	—	—	—	930.6(71.6)	169.0(82.6)	383.7(69.2)
	—	—	弱	—	—	938.5(72.2)	117.3(57.3)	437.3(78.9)
2	—	—	—	—	弱	888.4(68.3)	— (—)	348.2(63.2)
	強	強	—	—	—	27.2(2.1)	6.0(2.9)	18.5(3.3)
	—	—	強	強	—	18.8(1.4)	7.6(3.7)	40.2(7.3)
	中	中	—	—	—	115.1(8.8)	25.9(12.7)	57.1(10.3)
	—	—	中	中	—	94.3(7.3)	28.7(14.0)	85.9(15.5)
	弱	弱	—	—	—	684.4(52.6)	96.1(47.0)	294.8(53.2)
	—	—	弱	弱	—	406.0(31.2)	82.1(40.1)	244.2(44.1)
3	強	強	強	—	—	2.2(0.2)	0.2(0.1)	4.7(0.9)
	—	—	強	強	強	0.9(0.1)	— (—)	2.1(0.4)
	中	中	中	—	—	36.9(2.8)	3.8(1.9)	28.9(5.2)
	—	—	中	中	中	16.1(1.2)	— (—)	14.2(2.6)
	弱	弱	弱	—	—	462.8(35.6)	49.1(24.0)	224.1(40.4)
	—	—	弱	弱	弱	264.3(20.3)	— (—)	111.4(20.1)
	強	中	弱	—	—	17.1(1.3)	8.0(3.9)	10.5(1.9)
	強	弱	中	—	—	31.0(2.4)	6.9(3.4)	15.6(2.8)
	中	強	弱	—	—	31.9(2.5)	8.5(4.1)	27.5(5.0)
	中	弱	強	—	—	104.5(8.0)	1.8(0.9)	56.7(10.2)
	弱	強	中	—	—	48.2(3.7)	8.5(4.1)	70.3(12.7)
	弱	中	強	—	—	108.0(8.3)	2.1(1.0)	94.3(17.0)
	—	—	強	中	弱	52.5(4.0)	— (—)	33.9(6.1)
	—	—	強	弱	中	47.8(3.7)	— (—)	21.3(3.8)
	—	—	強	強	弱	17.2(1.3)	— (—)	27.4(4.9)
5	—	—	中	弱	強	52.4(4.0)	— (—)	9.0(1.6)
	—	—	弱	強	中	15.0(1.2)	— (—)	28.5(5.1)
	—	—	弱	中	強	9.2(0.7)	— (—)	19.3(3.5)
	強	強	強	強	強	0.0(0.0)	— (—)	0.0(0.0)
	中	中	中	中	中	2.1(0.2)	— (—)	0.8(0.1)
	弱	弱	弱	弱	弱	132.0(10.2)	— (—)	58.1(10.5)

注) 初期個体群密度は、無散布で第1世代成虫がピーク時に20回振りあたり100頭となる密度。第2世代成虫の発生密度は、ピーク時の20回振りあたり捕獲個体数を示した。()内は、対無散布比(%)。殺虫剤の散布月日は次表を参照。

表31 前表における殺虫剤の散布月日、無散布時の本種の発生時期およびイネの出穂期

気象	散 布 月 日					発生密度のピーク日※1		出穂期※2
	①	②	③	④	⑤	第1世代成虫	第2世代卵	
1984	7/20	7/27	8/ 3	8/10	8/17	7/24	7/30	7/23
1985	8/ 3	8/10	8/17	8/24	—※3	8/ 8	8/13	8/ 3
1990	7/15	7/22	7/29	8/ 5	8/12	7/20	7/25	7/24

注) ※1：発生密度のピーク日は本モデルによる計算上のものであり、実際の観測値とは必ずしも一致しない。

※2：出穂期は、地域の一般的な品種の出穂期。

※3：1985年の⑤の散布は、第2世代成虫の発生密度がピークとなるまでに日数がなかったため、行わなかった。

10.5%の効果にとどまった。殺虫力が「強」、「中」、「弱」の薬剤を組み合わせた3回の散布は、組み合わせ方によって防除効果が異なったが、ほとんどの場合は第2世代成虫密度を対無散布比5%以下に抑える高い効果があった(表30)。

以上のことからみて、吸汁害を起こす第2世代成虫を夏期の慣行的な薬剤散布で防除するには、2回ないし3回の散布が必要であり、また殺虫力が「弱」の薬剤のみでは効果が不十分であり、殺虫力が「強」または「中」の薬剤を使用する必要があることが判明した。一般に、同一系統の薬剤の連用は害虫の薬剤感受性低下の観点から避けるべきであり、殺虫力が「強」と「中」の薬剤を組み合わせた2回散布、または「強」、「中」、「弱」の薬剤を組み合わせた3回の散布が実用上適当であると考えられる。ただし、最も適当な防除法について薬剤の使用順序や散布日などをより具体的に知るには、発生状況に応じた防除効果のシミュレーションをさらに細かく行う必要があると思われる。

第2項 殺虫剤の水面施用

(1) 越冬世代成虫発生期における殺虫剤の水面施用の効果

1) 方 法

越冬世代成虫の発生時期に殺虫剤の水面施用を1回行った時の本種の発生消長を本モデルで計算し、施用時期別および使用薬剤別に防除効果を比較した。気象条件は旭川市の平年値、初期個体群密度は一定値、施用時期は越冬世代成虫の水田侵入開始直前である6月5日から第1世代の若齢幼虫期である7月5日まで、使用薬剤は浸透移行性薬剤および非浸透移行性薬剤とした。防除効果は、越冬世代成虫および第1世代成虫のピーク時の発生密度を無施用の場合と対比することで評価した。

2) 結 果

殺虫剤の水面施用が越冬世代成虫に及ぼす効果(図56)は、そのピーク時の発生密度で評価すると全般に低く、対無施用比50%以下に抑えることはなかった。また、効果が現れた施用時期は短期間であり、浸透移行性薬剤の場合、越冬世代成虫の水田侵入開始時の施用において最も効果が高く、施用時期が遅くなるほど効果は低下した。非浸透移行性薬剤の場合は、浸透移行性薬剤とは異なって、越冬世代成虫の侵入開始時の施用には効果がなく、越冬世代成虫の発生ピーク直前の施用が最も効果的であったが、第1世代幼虫の孵化が始まると浸透移行性薬剤と同様に効果がなくなった。

殺虫剤の水面施用が第1世代成虫に及ぼす効果(図57)は、越冬世代成虫に及ぼす効果とは全く異なった。すな

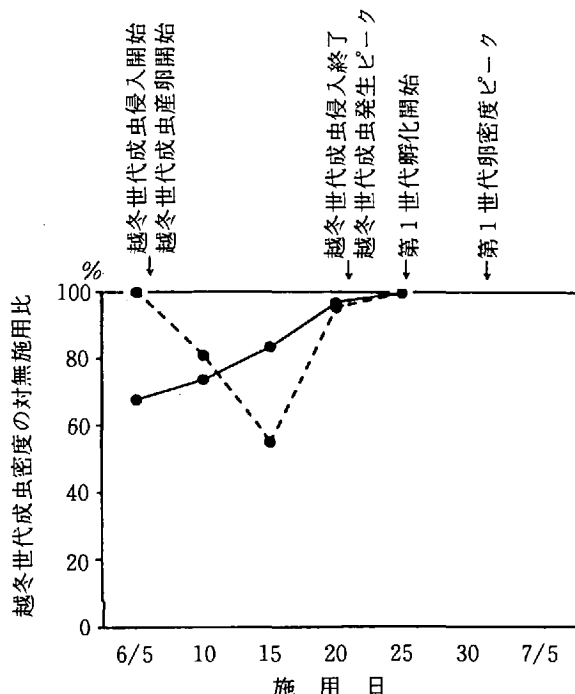


図56 殺虫剤の水面施用が越冬世代成虫の発生密度に及ぼす効果

注) 施用回数は1回。計算に用いた越冬世代成虫の発生密度はピーク時の密度。実線：浸透移行性薬剤、破線：非浸透移行性薬剤。

わち、浸透移行性薬剤の場合、施用時期が遅いほど効果は高く、越冬世代成虫の発生ピークを過ぎて第1世代卵の密度がピークとなる時期の施用でも第1世代成虫密度を対無施用比50%以下に抑える効果があった。非浸透移行性薬剤の場合は、すでに第1項(1)で示したこの時期の茎葉散布の効果(図51)と類似し、その効果は越冬世代成虫の水田侵入開始直後の施用から現れ、水田侵入終了直前すなわち越冬世代成虫密度がピークとなる直前頃に最も高まり、その後第1世代卵の孵化開始期から卵密度のピーク期にかけて低下し、第1世代幼虫の発生時期に入ると再び高まった。浸透移行性薬剤と非浸透移行性薬剤の効果を比較すると、どの時期の施用でも後者のほうが効果が低く、第1世代成虫密度を対無施用比50%以下に抑えることはなかった。

これらのことから、殺虫剤の水面施用の適期は比較的短く、また薬剤の種類によって効果が異なることが判った。第1項の越冬世代成虫の発生時期における殺虫剤の茎葉散布の検討においても述べたように、実際の水田では、成虫の水田への侵入は本モデル内の設定より長い期間徐々に起こるので施用適期の把握が難しく、また最適な施用時期であっても、防除効果は本モデルで示されたよりさらに低いと考えられる。

また、防除効果は評価を越冬世代成虫密度で行うか第

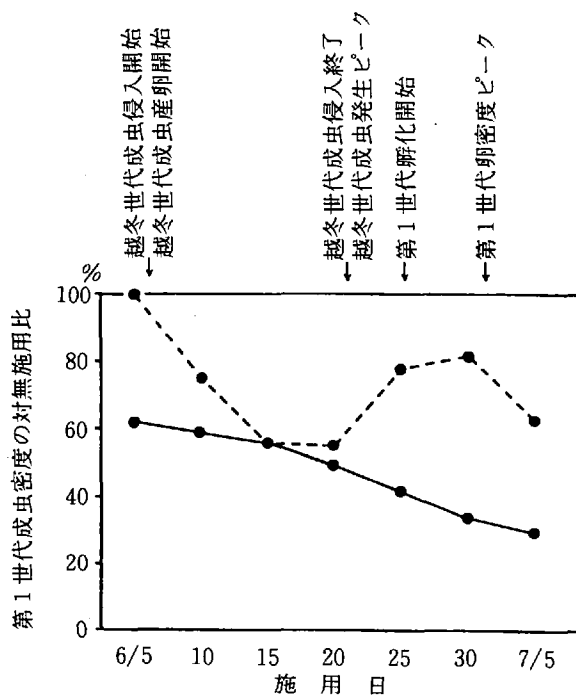


図57 殺虫剤の水面施用が第1世代成虫の発生密度に及ぼす効果

注) 施用回数は1回。計算に用いた第1世代成虫の発生密度はピーク時の密度。実線：浸透移行性薬剤、破線：非浸透移行性薬剤。

1世代成虫密度で行うかによっても異なり、両世代共に効果的な施用適期はなかった。越冬世代成虫の発生時期における薬剤防除は、実際にはイネ縞葉枯病の防除を目的とすることが多く、同病はイネの移植期以降7月中旬までに発生する越冬世代成虫と第1世代幼虫によって感染することから、殺虫剤の水面施用の適期は、同病に対する防除効果も含めて検討し、最終的な判定を行う必要がある。

第3項 各種薬剤防除法の効果比較

(1) 7月上旬までに行う各種薬剤防除法（1回および2回以上の防除）の効果比較

1) 方法

イネの移植から出穂直前までの期間に行われる薬剤防除として、越冬世代成虫を主な対象とした育苗箱施用、水面施用および茎葉散布があるが、各防除法の効果を直接比較して優劣を検討したり、複数の防除法の組み合わせの効果を比較検討した例はこれまでない。そこで、これらの防除法について、1回の薬剤防除の効果を本モデルで再度計算し、結果を一括して比較した。また、これらの防除法を組み合わせた2回以上の薬剤防除について、本モデルでその効果を計算して比較した。

計算方法はこれまで述べてきた個々の防除法の計算とほぼ同様である。すなわち、気象条件は旭川市の平年値、

初期個体群密度は一定値、使用薬剤はモデル内のパラメータを設定した時の類別に従い、育苗箱施用がA, B, Cタイプの3種類、水面施用が浸透移行性・非浸透移行性の2種類、茎葉散布が「強」、「中」、「弱」の殺虫力を持つ3種類とした。水面施用と茎葉散布を行う日は、各薬剤とも3日とし、これまでの計算において比較的高い効果が示された時期から選ぶこととした。

2回以上の薬剤防除は、1回の薬剤防除の効果が比較的高かったものを任意に選んで、最大4回まで組み合わせた。ただし、Aタイプの薬剤の育苗箱施用は、1回の薬剤防除の効果比較において他の薬剤防除と組み合わせる必要がないほどの高い効果が示されたことから、2回以上の薬剤防除からは除き、Bタイプの薬剤の育苗箱施用を他の薬剤防除と組み合わせた。茎葉散布については殺虫力が「強」の薬剤のみとした。実際の水田で行われる薬剤防除を考えて、水面施用は2回まで、茎葉散布は3回までとした。

防除効果の評価は、越冬世代成虫と第1世代成虫のそれぞれのピーク時の発生密度を無処理の場合と対比することによって行った。

2) 結果

1回の薬剤防除が越冬世代成虫の発生密度に及ぼす効果（表32）は、施用法および使用薬剤の種類によって異なったが、その中では、高い殺虫率が長期間持続するAタイプの薬剤の育苗箱施用の効果が最も高く、この場合はピーク時の発生密度を対無処理比24.1%に抑えることができた。逆に、最も効果が低かったのは殺虫力の弱いCタイプの薬剤の育苗箱施用および殺虫力が「弱」の薬剤の茎葉散布であり、発生密度を対無処理比85.3～87.0%に抑えたにとどまった。その他の薬剤は、施用日が適当であると中程度の効果があり、発生密度を対無処理比54.7～67.8%に抑えた。

1回の薬剤防除が第1世代成虫の発生密度に及ぼす効果（表32）も、越冬世代成虫に及ぼす効果とほぼ同様の傾向であったが、その中では、Aタイプの薬剤の育苗箱施用の効果が際だって高く、この場合は発生密度を対無処理比わずか0.5%に抑えた。最も効果の低いCタイプの育苗箱施用および殺虫力が「弱」の薬剤の茎葉散布は、対無処理比が82.6～84.6%、その他の薬剤は適期の施用で49.3～53.7%の効果となり、それぞれ越冬世代成虫に対するよりやや高い効果があった。

薬剤防除を2回以上行った時の越冬世代成虫に対する効果（表33）は、1回のみ薬剤防除に比べて飛躍的に高まることはなく、4回の防除を行ってもピーク時の発生密度は対無処理比32.0%であり、Aタイプの薬剤の育

表32 7月上旬までに行う各種薬剤防除（1回防除）の効果の比較

	薬 剤 防 除 法			発生密度の対無処理比(%)	
	施用法	施 用 薬 剤	施用日	越冬世代成虫	第1世代成虫
①	育苗箱施用	Aタイプの薬剤	移植時	24.1	0.5
②	〃	Bタイプの薬剤	〃	58.2	53.0
③	〃	Cタイプの薬剤	〃	87.0	84.6
④	水面施用	浸透移行性薬剤	6/ 5	67.8	61.4
⑤	〃	〃	6/20	97.1	49.3
⑥	〃	〃	7/ 5	100.0	28.0
⑦	〃	非浸透移行性薬剤	6/15	54.7	55.5
⑧	〃	〃	6/20	95.1	50.1
⑨	〃	〃	7/ 5	100.0	62.1
⑩	茎葉散布	殺虫力「強」の薬剤	6/15	54.7	55.5
⑪	〃	〃	6/20	95.1	50.1
⑫	〃	〃	7/ 5	100.0	60.7
⑬	〃	殺虫力「中」の薬剤	6/15	61.7	62.5
⑭	〃	〃	6/20	95.1	53.7
⑮	〃	〃	7/ 5	100.0	62.6
⑯	〃	殺虫力「弱」の薬剤	6/15	85.3	85.9
⑰	〃	〃	6/20	95.1	82.6
⑱	〃	〃	7/ 5	100.0	68.8

注) ○内の番号は表33, 34の番号と対応。対無処理比の計算に用いた発生密度は、各世代成虫のピーク時の密度。

育苗箱施用1回のみの時の24.1%（表32）には及ばなかった。

薬剤防除を2回以上行った時の第1世代成虫に対する効果は、防除回数を増やすほど高まった（表34）。効果が高まる程度は越冬世代成虫に対する場合より大きく、

4回の防除を行うと、第1世代成虫のピーク時の密度を対無処理比5.1%まで抑えることができた。しかし、それでもAタイプの薬剤の育苗箱施用1回のみの時の0.5%（表32）には及ばなかった。

表33 薬剤防除を2回以上行った時の越冬世代成虫に対する効果

防 除 内 容	越冬世代成虫発生密度 の対無処理比(%)
2回防除	
育苗箱施用②+水面施用④	44.9
育苗箱施用②+水面施用⑦	39.2
育苗箱施用②+茎葉散布⑩	39.2
水面施用④+水面施用⑦	41.8
水面施用④+茎葉散布⑩	41.8
茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	52.2
3回防除	
育苗箱施用②+水面施用④+水面施用⑦	32.3
育苗箱施用②+水面施用④+茎葉散布⑩	32.3
4回防除	
育苗箱施用②+水面施用④+水面施用⑦+茎葉散布⑪	32.0
育苗箱施用②+水面施用④+茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	32.0

注) ○内の番号は表32の番号と対応。対無処理比の計算に用いた発生密度は、越冬世代成虫のピーク時の密度。

表34 薬剤防除を2回以上行った時の第1世代成虫に対する効果

防 除 内 容	第1世代成虫発生密度 の対無処理比(比)
2 回防除	
育苗箱施用②+水面施用⑥	14.1
育苗箱施用②+水面施用⑧	29.1
育苗箱施用②+茎葉散布⑪	29.1
水面施用⑥+水面施用⑧	15.1
水面施用⑥+茎葉散布⑪	15.1
水面施用⑦+茎葉散布⑪	28.9
茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	28.9
3 回防除	
育苗箱施用②+水面施用⑥+水面施用⑧	8.9
育苗箱施用②+水面施用⑥+茎葉散布⑪	8.9
育苗箱施用②+茎葉散布⑩+水面施用⑧	19.0
育苗箱施用②+茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	19.0
水面施用⑥+水面施用⑧+茎葉散布⑩	8.7
水面施用⑥+茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	8.7
茎葉散布⑩+茎葉散布⑪+茎葉散布⑫	6.8
4 回防除	
育苗箱施用②+水面施用⑥+水面施用⑧+茎葉散布⑩	5.7
育苗箱施用②+水面施用⑥+茎葉散布⑩+茎葉散布⑪	5.7
育苗箱施用②+茎葉散布⑩+茎葉散布⑪+茎葉散布⑫	5.1

注) ○内の番号は表32の番号と対応。対無処理比の計算に用いた発生密度は、第1世代成虫のピーク時の密度。

第4項 考 察

本種に対する薬剤防除の効果査定は、これまで実際の水田を使った防除試験によって行われていたが、広大で条件の均一な水田は得難く、また労力の制約もあることから、処理内容の異なる多くの防除法をある一定の条件下で比較したり、複数回の防除を行う場合の防除の組み合わせ方を比較することはこれまで行われていなかった。しかし、個体群動態モデルLASTRISでは、様々な防除条件下における本種の発生活消長のシミュレーションが可能であり、多数の薬剤処理法の比較や2回以上の防除の効果の推定も容易に行うことができた。また、防除後の個体群密度の回復過程も示され、密度回復の要因は成虫の移動や卵の残存であることが推定できた。本モデルはその設定として、①密度に依存した発生制御要因を含んでいない、②天敵類への薬剤の影響を考慮していない、③移動に関するパラメータの設定が単純である、などの不完全な部分があるため、本モデルによって薬剤防除が本種の発生に及ぼす長期間の影響を査定することは現時点では難しい。従って、イネの移植から収穫までの期間に行われる全ての薬剤防除を組み合わせで防除効果を検討することはできないが、イネの出穂以前に行われる防除とそれ以降に行われるいわゆる夏期防除に分け、それぞれのなかで最適な防除法を比較検討することは可能である。

イネの出穂以前には、越冬世代成虫と第1世代幼虫の

密度抑制を目的とした殺虫剤の育苗箱施用、水面施用および茎葉散布が行われる。これらの薬剤防除の効果の本モデルを用いて比較検討した結果、水面施用および茎葉散布は効果が概して弱く、また防除適期が限られることから効果は不安定であった。従って、水面施用および茎葉散布で十分な効果を得るためには、水田での成虫の発生状況を把握して適期に施用するとともに2回以上の防除を行う必要があると言える。しかし、実際の水田では越冬世代成虫の侵入や移動が本モデルの設定より不規則であり、また、その時期は年間で最も密度の低い時期であることから、簡便で正確な発生調査法がなく、防除適期の把握は容易ではない。複数回の防除は、それに要するコストも大きい。これらのことを考えあわせると、越冬世代成虫の発生時期における殺虫剤の水面施用と茎葉散布が防除コストに見合った高い効果をあげるケースは現実には多くないと考えられる。

一方、育苗箱施用は、高い殺虫力が長期間持続するAタイプの薬剤の場合、他の薬剤の育苗箱施用や他の薬剤施用法より高い効果が得られ、特に第1世代成虫に対して効果が高く、モデルの計算ではその発生密度を対無処理比1%以下に抑えた。夏期になると、育苗箱施用を行った水田の周辺にある発生密度の比較的高い水田やコムギ畑などから第1世代成虫が飛来するため、育苗箱施用を行った水田のこのような低い発生密度が夏期もそのまま続くことは期待できず、この時期の防除を省くことはで

きないと考えられる。しかし、夏期の防除時期以前に限れば、このタイプの薬剤を育苗箱施用した場合には、茎葉散布や水面施用を追加して行う必要がないほどの高い防除効果が継続すると考えられる。

効力の持続期間がAタイプより短いBタイプの薬剤の育苗箱施用は、浸透・非浸透移行性薬剤の水面施用および殺虫力が「強」の薬剤の1～2回の茎葉散布とはほぼ同等の防除効果があり、多発生時には低密度に抑えられないが、少発生時にはある程度有効であると考えられる。Cタイプの薬剤の育苗箱施用は、本種に対する防除効果が弱く、モデルの計算に従えば、防除薬剤として不適當であると考えざるをえない。

一般論として、薬剤防除は害虫の発生を見てから行わなければ過剰防除となる恐れがあるから、予防的な防除である移植時の殺虫剤の育苗箱施用は慎重に行うべきであろう。しかし、本モデルのこれまでの計算結果からみて、本種の発生密度が高い時、あるいは高いと予想される時は、移植時にAタイプの薬剤を育苗箱施用することが適當であるといえる。また、Bタイプの薬剤を育苗箱施用した場合やイネの移植後に本種の発生密度が予想よ

り高いとわかった場合には、殺虫剤の茎葉散布や水面施用を行うことも一つの防除方法としてありうる。しかし、Cタイプの薬剤の育苗箱施用および殺虫力「弱」の薬剤の茎葉散布は、本モデルの計算結果によれば、本種を主対象とした防除としては不適當であり、本種に対する効果は、他の害虫を主対象とした防除における副次的なものと考えるべきである。

夏期の防除は、主な対象がアカヒゲホソミドリメクラガメであり、ヒメトビウンカに対する防除は、吸汁害が予想される時にアカヒゲホソミドリメクラガメとの同時防除として行われる。従って、夏期の防除が開始されるイネの出穂期頃、すなわち第1世代成虫の発生時期までに、本モデルで吸汁害の有無を予測し、起こる恐れがある場合、両害虫に効果的な薬剤を選定する必要がある。殺虫力「弱」の薬剤のみ使用すると5回の茎葉散布を行っても効果は不十分であるが、殺虫力「中」または「強」の薬剤を2～3回組み合わせ、本モデルが示した本種に防除効果の高い時期を選んで茎葉散布を行えば、吸汁害が起こるような高密度時でも十分な防除効果が得られると考えられる。

第6章 総合考察

水稻害虫に対して我が国で最初に作成されたコンピュータ利用による個体群動態モデルとしては、村松(1979)によるヒメトビウンカのモデルがある。このモデルは各世代の幼虫数と成虫数との関係、および成虫数と次世代の幼虫数との関係を、気象要因を説明変数とする関係式で表し、各関係式をつないで世代単位の成・幼虫数の推移を求める形をとっている。1日単位の個体数計算を行わないため、各世代の発生期間内の密度の推移は算出されず、また発生時期の計算も行わない。その点、本研究において作成したモデルLASTRISは、本種の発生密度変動を1日単位で計算するため、発生時期の予測を行うことや、薬剤防除などの栽培管理法を日単位で検討することができ、大きな利点がある。

1日あるいは数日を時間の単位として個体数あるいは発生密度を計算する個体群動態モデルの代表的手法の一つとして Leslie (1945) の行列法 (matrix method) がある。この手法によって、施設栽培野菜のミナミキイロアザミウマ (Kawai and Kitamura, 1987, 1990)、香川県におけるイネのセジロウンカ (宮下, 1992)、岐阜県におけるイネのヒメトビウンカ (平ら, 1995) などマトリックスモデルの作成に成功している。行列法の利点は、対象種の発生世代数が多いかまたは世代期間が短くて各发育段階の個体が混在している状態の個体群を対象とする場合において、精度を落とさずに計算の簡略化を図ることができることである。しかし、本研究においては、対象種の発生世代数は1年間にわずか2ないし3回であり、各发育段階の個体は秋期に至っても十分には混在していない。また、成虫の生理的寿命が世代ごとに異なるため、成虫の計算は世代ごとに分けて行わなければならない。従って、本研究においては、行列法の採用はその利点を引き出せる適当な手法ではないと考えられた。さらに、本研究が対象としたヒメトビウンカのもう一つの特徴は、比較的高温に管理された施設栽培のモデル (Kawai and Kitamura, 1987, 1990) や水田への侵入以降が主な対象であるモデル (宮下, 1992; 平ら, 1995) と異なって、その計算期間に早春や晩秋の发育有効温度のほとんどない低温期から夏の高温期までを含んでいることである。マトリックスモデルや微分タイプのモデルをこのような条件下で利用するためには、個体をグループ分けする時の发育段階や時間単位をより細かく設定する必要がある。

り、その設定を誤ると誤差が大きくなる。このようなことから、本研究においては差分タイプの手法を採用し、日ごとに各個体の发育と生存を計算するモデルとした。本モデルでは、個体は孵化日の同じ個体ごとにグループ分けされ、かつ发育速度に個体差がないことにしたので、グループ数が過大になることなく全個体の发育と生存を追跡することができ、他の手法よりも正確な計算結果が得られると考えられる。

本モデルは、各发育段階のグループを貨車 (boxcar) に見立てた boxcar train と呼ばれるタイプのモデルの一種でもある。ただし、本モデルにおいては、個体は发育に従って次の发育段階のグループへ順次シフトするのではなく、計算の単位となっている各グループは、同じ個体で構成されたまま发育段階自体が進行する。従って、本モデルにおいては、計算単位となっている各グループと、各グループを卵、各齢幼虫、蛹および成虫という各发育段階によって集計した上位のグループという大きさの違う2つの boxcar を想定することができ、大きな boxcar train の中を小さな boxcar train が進んで行くイメージとなる。

Boxcar train には、发育速度に個体差を設けるものと設けないものがある。发育速度に個体差を設けないと、発生消長の計算結果は不自然な階段状となりがちであるが、发育速度に変動係数を与えるとなめらかな発生消長が計算される。後者の方法は対象個体群の生物学的機構を反映したものではないが、対象個体群に近似した発生消長を得ることができるので利用価値が高い (矢野, 1990)。その点、本研究におけるモデルでは、個体差を設けたのは5齢期間の雌雄差と成虫寿命のみであり、卵と各齢幼虫に個体変異はないが、初期個体群の年齢構成には現実に近いばらつきを持たせたので、最初の世代から満足できるなめらかな発生消長が再現されており、このモデルにさらに羽化までの发育速度の変動係数を与えることは必ずしも必要ないと考えられる。

昆虫の個体群動態モデルの作成には、多量の基礎データの蓄積が必要である。その点でヒメトビウンカはイネの主要害虫の一つとして長く研究され、利用可能なデータが比較的多い昆虫である。しかし、ヒメトビウンカといえども完全なモデルを構築するのに十分なデータが揃っているとは言い難く、また、存在するデータのなかには定性的な把握に留まっているものも少なくない。そ

うしたデータの欠落を洗い出すことができることも、このモデル作成の試みの一つの大きな効用である。

一方、モデルの作成にあたっては、全てのデータの集積を待たなければならないと考える必要はない。データが不完全である昆虫においては、モデルの作成を行う過程でデータを検討しながら必要に応じてデータをとり直すなどしてモデルの改善をはかっていくのがむしろ近道であり、このような作業を経てモデルをより完全なものにしてゆくことができる。このような考え方に立ち、本研究においては、まずモデル作成に必要な要素をできるだけ定量的に調べ直し、不明なパラメータについては、単純な設定を試みたり試行錯誤的に仮想的な関係を仮設定し、各要素に関するパラメータを一通り揃えたうえでモデルを作成した。このモデルによって本種個体群の長期間の発生動向と2～3カ月程度の薬剤防除効果が予測可能となったので、本モデルは現段階でも実用に供することは十分可能であるが、暫定的なパラメータが少なからずあるので、現段階では必ずしも全ての場面で適合性が完全とはいえず、今後改善の余地を残したモデルである。単純な設定のみの移動や死亡に関するパラメータを改善したり、地域間差や圃場間差のあるパラメータをより厳密に設定することによって、様々な条件下の個体群動態をより正確に記述することが可能となるようモデルを改良してゆく必要がある。

個体群動態のシミュレーションを行うモデルの作成にはいくつかの目的があり、その一つにモデルを要因解析モデルとして使い、個体群の発生変動要因を説明することがある(斎藤, 1989)。本モデルが本種の実際の発生動態をある程度再現できたことは、本種の実際の発生パターンが本モデルに組み込まれた諸要因である程度説明できることを示しており、要因解析モデルとしての本モデルの有効性が認められた。すなわち、本種の発生時期は温度によってほとんど決定されること、第1世代成虫の発生時期に水田外から水田へ成虫の侵入があること、第2世代成虫の発生密度の年次変動が大きい一因は発生時期の遅速が休眠率に違いをもたらしためであることなどが本モデルから推定される。また、1985年の異常ともいべき本種の多発生やその翌年の急激な密度減少が本モデルでは十分説明できないことから、本モデルに組み込まれていない未知の要因がこの著しい密度変動に関与していることも推察できる。今後、本モデルの改善にあたっては、このような未知の要因を解明して組み入れることも必要である。

個体群動態モデルの持つ別の性格として、斎藤(1989)は発生予測モデルと効果予測モデルをあげている。現時

点以降の発生を予測し、発生予測を踏まえた防除対策を講じることは害虫管理の基本である。本研究におけるモデル作成の最大の目的も、モデルで本種の発生動態のシミュレーションを行って発生予測と効果予測を行い、適切な害虫管理を行うための有効な情報を得ることにある。一般に、発生予測事業などで行うある程度広い地域を対象とした発生予測は、その時点までの対象害虫の発生経過とそれ以降に起こると予想される気象条件をもとに行われるが、本モデルではそれらのデータを有効に活用して本種の発生予測を定量的に行うことが可能であり、発生予測モデルとして有効である。本モデルの精度は特に発生時期の予測において高く、防除時期の判断に活用できる。また、発生密度においても、過去の平均的な発生密度変動に従って予測するよりも精度の高い予測が可能であり、防除対策実施の適否を判断するうえで活用できる。ただし、他の個体群動態モデルと同様、予測の適合性はモデルを動かす基礎データである気象条件が予想どおりに経過するか否かに大きく依存しており、モデルの活用に当たってはこの点を常に注意する必要があるとともに、気象データの不確定性を計算結果に反映できるように確率論的モデルに改めることも今後検討する必要がある。

農業の生産現場において最も必要とされる病虫害情報は、具体的な防除法に関するものである。薬剤防除という優れた防除法があり、かつそれに替わる有効な防除法の実用化が当面望めない現状では、いかに少ない回数の薬剤施用で最大の防除効果を得るかが害虫管理の要諦である。本モデルには薬剤防除に関するパラメータも組み込まれていることから、防除計画を立てるうえで必要な具体的情報を引き出すことが可能である。防除時期、防除回数と間隔、使用する薬剤の組み合わせ方などによる防除効果の違いが予測でき、最適な防除法を処方することが可能である。

また、育苗箱施用や茎葉散布などの異なる薬剤施用法の効果直接比較できるのも本モデルの利点である。長期的な発生予測の精度が低いため、施用時期が大きく異なる場合には比較できないが、イネにおける慣行的な薬剤防除がイネの出穂期以前とそれ以降に大別できるため、それぞれの中では異なる防除法の比較が可能である。出穂期以前の防除法について本モデルでシミュレーションを行った結果、多発生がイネの移植以前に予想される場合は殺虫剤を予防的に育苗箱施用するのが最も有効であり、防除が必要であることが移植後に判明した場合は、殺虫剤を茎葉散布または水面施用することで効果をあげることが示された。夏期において本種に対する防除が

必要となるのは、本種がイネに吸汁害を起こすほどの高密度になる場合であるが、本モデルは密度の早期予測が可能であり、高密度が予測された場合の最適な茎葉散布法を推定できる。実際にどのような防除を行うか、その最終的な判断は、他の病害虫との同時防除の可否、作業労力や薬剤費などの防除コストおよび農作業の全体計画などを勘案してなされるものであるが、本モデルは防除効果の面からこの判断に有効な情報を与えることができる。

最適な防除を行うためには、これまで述べたことのほかに要防除水準が明らかにされていることも必要である。夏期における本種の防除は吸汁害防止が主目的であるので、要防除水準の設定は比較的容易である。しかし、イネの出穂期以前における本種の防除は、イネ縞葉枯病対策が主目的であることから、この時期の要防除水準の設定は容易ではない。なぜならば、イネ縞葉枯病の発病程度は本種の発生密度によってのみ決定されるのではなく、そこには地域や年次によって大きく異なる本種のイネ縞葉枯病ウイルス保毒虫率という要素が介在しているためである。従って、イネ縞葉枯病の発病程度を許容水準以下に抑えるためには、保毒虫率も考慮に入れた本種の防除が必要である。また、保毒虫率は発病株率や本種の発生密度によって変動するものであるから、保毒虫率の低下をも目的にし、イネ一作の栽培期間にとどまらない長期的視野に立った防除対策を講じる必要がある。河野（1966）と岸本ら（1985）は、イネ縞葉枯病の流行機構の解明を目的として保毒虫率変動モデルを考案した。

また、Nakasuji et al. (1985) はイネ萎縮病、法橋・山村（1986）は虫媒性の永続性イネウイルス病一般についてそれぞれ疫学モデルを作成した。これらのモデルは、ウイルス病に関わる系を完全に記述するのが目的ではないので、媒介虫の動態については極めて単純化されている。一方、村松（1979）は静岡県、平ら（1995）は岐阜県において、それぞれの地域の発生生態に応じたヒメトビウソカの発生動態モデルを作成し、これにイネ縞葉枯病に関するパラメータを加えて保毒虫率の変動を試算している。従って、今後これらの知見を参考にしながら、地域間差のある本種のイネ縞葉枯病ウイルス親和性個体率、経卵伝染率、イネの生育パターンや発病パターンなどのパラメータを明らかにし、さらに品種によって異なるイネのイネ縞葉枯病感受性のパラメータも加えることによって、本モデルをイネ縞葉枯病対策も考察できるものに改良し、北海道における総合的な病害虫管理モデルに発展させることが本研究において残された大きな課題であると考えられる。

斎藤（1989）は、個体群動態モデルの持つもう一つの性格としてデモンストレーション用モデルとしての有効性をあげている。本モデルは計算結果をパソコンのCRT上に表示することによって、増殖力や薬剤散布後の密度回復過程など生産現場では実感しにくい本種の生態を視覚的に示すことができる。防除技術の普及指導の教材としても本モデルは有用であり、こうしたデモンストレーションによって、本種の発生生態や防除方法に関して稲作農家の理解が深まることが期待できる。

第7章 摘 要

ヒメトビウンカに対して講じられる薬剤防除をよりの確なものに改善して効率的に本種の発生を抑えるためには、発生予測に基づいて最適な防除法を選択する必要がある。本論文では、本種の年間の発生活長と薬剤防除の効果をシミュレーションする個体群動態モデルを作成し、発生予測モデルとしての有効性を検討するとともに、本モデルを使って最適な薬剤防除法を検討し、従来の薬剤防除技術の改善策を論じた。

1. ヒメトビウンカ個体群動態の特徴

モデルの骨子を決定するため本種の個体群動態を解析したところ、以下の特徴が認められた。

1) 発生密度の年次変動の特徴から、水田では世代を経るごとに一定の密度レベルに近づいていくような密度制御機構を持たず、比較的単純な増殖パターンをとっていると考えられた。

2) 年間の発生世代数は2回と3回の混合であり、この比率は年次によって異なった。

3) 春期の畦畔上の越冬世代幼虫密度に対する水田内の越冬世代成虫発生密度の増加(減少)率は年次変動が小さかった。

4) 越冬世代から第1世代への密度増加は著しく、かつその増加率の年次変動は小さかった。その原因は、幼虫期の死亡率が低いためであると考えられた。

5) 第1世代成虫から第2世代成虫への密度増加率は、第2世代幼虫の休眠率に依存していた。

6) 小麦畑における第1世代の発生密度は、水田における同世代の成虫密度に影響を与えていると考えられた。

以上の点を考慮すると、本種の年間の発生動態は、温度による生長と増殖に移動、休眠および種々の死亡要因を組み合わせた動態モデルで記述することが可能であり、これによって本種の発生活長と防除効果のシミュレーションが可能であると判断された。

2. 個体群動態の数量化

室内実験および圃場試験によって、以下のパラメータを設定した。

1) 卵および各齢幼虫の発育零点と発育有効積算温度。高温による発育抑制の有無。

2) 各世代成虫の生理的平均寿命と生存曲線。成虫寿

命と気温との関係。翅型の違いによる生理生態的な差異の有無。

3) 各世代成虫の産卵前期間の長さ、産卵開始後の日齢と日産卵数の関係、世代別の日気温と日産卵数の関係。

4) 気温と生息場所の温度差および生息場所の温度と昆虫体温との差。

5) 孵化日と幼虫休眠率との関係。

6) 4月以降の積算温度と卵寄生率との関係、日気温と捕食性天敵による成虫・幼虫の日死亡率との関係、および日降水量と成虫・幼虫の日死亡率との関係。天敵微生物による成虫・幼虫の死亡と水没による卵の死亡の有無。

7) 越冬世代成虫の畦畔から水田への侵入時期と侵入率、コムギ畑から水田へ飛来侵入する第1世代成虫の個体数、および秋期における水田から畦畔への休眠越冬幼虫の移動率。

8) 茎葉散布に用いる殺虫剤の殺虫力による類別および殺虫力の持続性の有無。殺虫剤散布時の発育ステージ別および殺虫剤の種類別の死亡率。

9) 水面施用に用いる殺虫剤の作用機作による類別、類別した殺虫剤ごとの成虫・幼虫に対する殺虫力、および施用後日数と日死亡率との関係。水面施用時の成虫に対する産卵抑制と卵の死亡の有無。

10) 育苗箱施用に用いる殺虫剤の殺虫力とその持続パターンによる類別。育苗箱施用したイネの移植水田における移植後の積算温度と殺虫剤の種類ごとの日死亡率との関係、日気温と日死亡率との関係、および生存成虫に対する産卵抑制効果の有無。

このほか、初期個体群の年齢構成、および発生調査で記録される個体数と発生密度との関係に関するパラメータを設定した。なお、イネの移植前に行われる畦畔防除については、防除から水田侵入までの間の発生変動要因が未解明であったので、パラメータの設定は行わず、モデルには組み込まなかった。

3. 個体群動態モデルの作成

4月1日時点の畦畔上の越冬幼虫を初期個体群とし、気象条件や薬剤防除等の発生変動要因に従って起こる個体群の変動を1日単位で10月末日まで計算する個体群動態モデルをコンピュータで作成した。作成したモデルの計算結果と実際の発生動態とは、以下のとおり適合した。

1) 北海道内3地点(旭川市, 岩見沢市および亀田郡大野町)の無防除水田について, 観測された初期個体群密度と気象データを使って本モデルで過去14年の発消長を計算し, 実測データと比較したところ, 発生時期については3地点ともよく適合し, 的中率も高かった。

2) 同様に発生密度については, 本モデルの計算値と実測値の相関係数が第2世代成虫で $r=0.872$ ($P \leq 0.05$), 秋期越冬幼虫で $r=0.816$ ($P \leq 0.05$)となり, 過去の密度増加率の平均値から算出される密度より適合性が高かった。越冬世代は他の世代より適合性が低く, また, 旭川市以外の地点は旭川市より適合性が低かった。

3) 本モデルが計算した各年の春期から秋期までの発消長を冬期の越冬率で連続させて, 14年間の発生密度の年次変化を計算したところ, 実測データとはほぼ一致した。

4) 慣行的方法で殺虫剤の茎葉散布を夏期に3~4回行った農家水田5カ所および無農薬栽培の農家水田1カ所について, 本モデルで防除期間の発消長を計算したところ, その結果は実測データとよく一致した。

5) 殺虫剤を水面施用および育苗箱施用を行った農家水田について本モデルが計算した発消長は, 実測データとはほぼ一致した。

4. 個体群動態モデルによる発生と防除効果の予測

本モデルによって無防除条件および防除条件における本種の発消長のシミュレーションを行い, 以下の知見を得た。

1) 本モデルを使って, 仮想の気象条件のもとで発消長のシミュレーションを行うことができ, 気象の長期予報に基づいた具体的な発生予測が可能であった。

2) 第2世代成虫期の吸汁害は, 第1世代成虫が捕虫網で20回振りあたり約200頭以上捕獲された時に起こる可能性が高く, 第1世代成虫の発生が早くかつ高温が連続する場合には, これ以下の密度でも起こる恐れがあった。

3) イネの出穂期以前に行われる殺虫剤の育苗箱施用, 水面施用および茎葉散布の効果は, 施用法, 施用薬剤および施用時期によって大きく異なった。このうち最も効果の高い防除法は, 高い殺虫力が長期間持続するタイプの薬剤を育苗箱施用することであり, これを行うと夏期の防除時期まで本種を極めて低密度に抑えた。

4) イネの出穂期以前に行われる各種防除法のうち, 殺虫剤の水面施用と茎葉散布は防除適期が短かった。また, これらの防除法で十分な効果を得るためには, 1回の薬剤施用では不十分であった。

5) 夏期に行う殺虫剤の茎葉散布は, 散布時期によって効果が異なり, 第1世代成虫の発生ピークから第2世代卵の発生ピークの時期に散布すると防除効果が顕著に低下した。

6) 夏期の防除時期においては, 適切な薬剤を選択して適期に茎葉散布を行えば, 吸汁害を起こすほどの多発生条件でも3回の散布で十分な効果が得られた。また, 殺虫剤を2回以上茎葉散布する時の散布間隔は, 1週間程度が適当であった。

謝

本研究を取りまとめるにあたり、北海道大学農学部教授 諏訪正明博士、同 飯塚敏彦博士、同 齋藤 裕博士、同元教授 阿部 永博士、ならびに同元教授 久万田敏夫博士には終始懇切なるご指導をいただくとともに、本論文のご校閲の労を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する。

本研究は1989年から1991年にわたり、北海道立上川農業試験場において実施した試験研究をもとに取りまとめたものである。本試験研究課題を与えられた同農業試験場仲野博之元場長、ならびに砂田喜與志元場長には、その遂行にあたって終始暖かい激励をいただいた。また、農林水産省北海道農業試験場虫害第一研究室長北村實彬博士（現同省農業研究センター研究情報部長）には、数理解析手法による害虫管理技術開発の必要性をご教示いただき、本研究に取り組む端緒を与えられた。同省農業環境技術研究所数理解析研究室法橋信彦博士（現デュボン株式会社農業科学研究所）、同 宮井俊一博士（現同省東北農業試験場害虫発生予察研究室長）、香川県病害虫防除所宮下武則氏（現香川県農林水産部農業改良課係長）、ならびに道立中央農業試験場情報課長水島俊一氏（現道立花野菜技術センター主任研究員）には数理モデルの開発手法をご指導いただいた。ここに深く感謝の意を表する。

北海道病害虫防除所次長梶野洋一博士には、本害虫の生態と防除に関する数々の知見と研究手法を教示いただくとともに、本研究の遂行と取りまとめに多大なご指導をいただいた。広島県立農業技術センター専門技術員那波邦彦博士、三重大学元教授岸本良一博士、ならびに農林水産省農業環境技術研究所小山健二博士（現同省野菜・茶業試験場）には、本害虫に関して数々のご教示を

辞

いただいた。宮崎公立大学学長平嶋義宏博士、農林水産省北海道農業試験場虫害研究室長齊藤 修博士（現同省農業技術研究所昆虫行動研究室長）、同室長伊藤清光博士、ならびに道立北見農業試験場病虫科鳥倉英徳氏（現道立十勝農業試験場専門技術員）には貴重なご教示をいただくとともに文献の入手に便宜をいただいた。また、元広島県賀茂高等学校田口英成氏には、卵寄生蜂同定の労を賜った。ここに深く感謝の意を表する。

本研究の遂行にあたっては、道立上川農業試験場主任研究員土屋貞夫博士（現北興化学工業株式会社参与）、同病虫科長秋山安義氏（現長瀬産業株式会社）、同科長中尾弘志博士（現道立中央農業試験場害虫科長）、同田中文夫研究員（現道立十勝農業試験場病虫科長）、同専門技術員尾崎政春博士（現道立花野菜技術センター主任専門技術員）、ならびに同長浜 恵研究員（現北海道病害虫防除所）には多大なご協力と暖かい励ましをいただいた。北海道病害虫防除所奥山七郎氏（現武田薬品株式会社）には、種々の便宜とご協力をいただいた。また、各種の実験および調査にあたっては終始南田文子氏の協力をいただいた。さらに、旭川、大雪、上川中央の各地区農業改良普及所（現同センター）の水稻担当普及員の方々には、農業現場との仲介役として数々のご便宜やご協力をいただいた。旭川市の高瀬八郎氏、中橋正昌氏、上川郡当麻町の畑 喜一氏、同郡東神楽町の岸田幸一氏、同郡美瑛町の谷口健三氏、ほか多くの農家の方々には、試験水田の提供をいただくとともに農業現場で多くの意見交換をさせていただいた。本研究は、以上の各位のご協力があった遂行できたものであり、ここに心より深謝の意を表する。

引用文献

- 1) 天野悦平 (1933) 稲縞葉枯病に就いて. 病虫害雑誌 20:634-638.
- 2) 天野悦平 (1935) 稲縞葉枯病に関する試験成績概要. 日植病報 4:225-226.
- 3) 天野悦平 (1937) 稲縞葉枯病と 2・3 の禾本科植物との関係に就いて. 病虫害雑誌 24:774-780.
- 4) 青木襄児・小桧山久寿・岡田斉夫・松井正春・伊藤清光 (1987) ヒメトビウンカおよびツマグロヨコバイに有効な糸状菌の選抜. 関東東山病虫研報 34:130-132.
- 5) 馬場徹代 (1970) 昭和44年の発生にかんがみ注意すべき病虫害および防除対策. 北農 37(8):29-38.
- 6) Chantarasa-ard, S., Y. Hirashima and T. Miura (1984) Ecological Studies on *Anagrus incarnatus* Haliday (Hymenoptera: Mymaridae), an Egg Parasitoid of the Rice Planthoppers. II. Spatial Distribution of Parasitism and Host Eggs in the Paddy Field. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 29:67-76.
- 7) 江崎悌三・橋本土郎 (1930) 農林省委託浮塵子駆除予防試験報告 第1. 九州帝国大学農学部. 福岡. 30pp.
- 8) 江崎悌三・橋本土郎 (1931) 農林省委託浮塵子駆除予防試験報告 第2. 九州帝国大学農学部. 福岡. 59pp. + 5pls.
- 9) 江崎悌三・橋本土郎 (1932) 農林省委託浮塵子駆除予防試験報告 第3. 九州帝国大学農学部. 福岡. 42pp.
- 10) 江崎悌三 (1932) 浮塵子の敵虫に就いて. 応動雑 4:128-130.
- 11) 福田晴夫・高橋真弓 (1988) 蝶の生態と観察. 築地書館. 東京. 236pp.
- 12) 福島義一・村上正雄・高野光之函・安正純 (1969) ヒメトビウンカ発生予察の基礎的研究(1) 温度と幼虫期間. 関東病虫研報 16:82.
- 13) Furuhashi, K., M. Nishino, Y. Muramatsu and M. Shiyomi (1981) Simulation model for forecasting of occurrence of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGREGOR) in citrus orchards. Proc. Int. Soc. Citriculture 2:653-655.
- 14) 八谷和彦 (1984) 捕虫網による水稻害虫のすくい取り効率に関する知見. 北海道立農試集報 50:76-82.
- 15) 八谷和彦・秋山安義 (1989) 異常多発生したヒメトビウンカの吸汁害によるイネの減収. 応動昆 33:104-105.
- 16) 八谷和彦・秋山安義・田中文夫 (1987) 昭和60年のヒメトビウンカ異常発生とその被害. 北農 54(6):29-42.
- 17) 八谷和彦・梶野洋一・秋山安義 (1988) ヒメトビウンカの寄生性天敵カマバチ類の発生と寄生率の年次推移. 北日本病虫研報. 39:140-142.
- 18) 橋本土郎・鮫島徳造 (1940) 農林省委託浮塵子駆除予防試験報告 第8. 九州帝国大学農学部. 福岡. 30pp. + 3pls.
- 19) 平野伊一 (1942) 稲作害虫浮塵子要録(3). 病虫害雑誌 29:157-163.
- 20) 北海道農政部 (1995) 平成7年度農作物病虫害防除基準・除草剤使用基準. 北海道農政部農業改良課. 札幌. 321pp.
- 21) 法橋信彦 (1972) ツマグロヨコバイの生活史と個体群動態に関する研究. 九州農試報告 16:283-382.
- 22) 法橋信彦・山村光司 (1986) 生物間相互作用のシステムモデル—昆虫によって媒介されるイネの永續性ウイルス病に関する疫学モデルの再検討—. 研究ジャーナル 9(8):16-20.
- 23) 今村重元 (1932) ニカメイチュウ及びウンカに寄生する糸片虫(2). 応動 4:176-180.
- 24) 石井卓爾 (1981) ムギ北地モザイク病を媒介するウンカ類の生態学的研究. 北農試研究報告 131:1-70.
- 25) 伊藤誠哉・福士貞吉 (1933) 麦類萎縮病に就て (予報). 札幌農林学会報 24(111):367.
- 26) Itô, Y., K. Miyashita and K. Sekiguchi (1962) Studies on the Predators of the Rice Crop Insect Pests, Using the Insecticidal Check Methods. Jap. J. Ecol. 12:1-11.
- 27) 岩田 勉・黒沢 強・高桑 亮・富岡 暢 (1979) ヒメトビウンカ. 北海道病虫害防除提要 (昭和54年版). 北海道植物防疫協会. 札幌. p. 220.
- 28) 梶野洋一・奥山七郎 (1980) イネ縞葉枯病を媒介するヒメトビウンカの防除に関する研究 II. ヒメトビウンカおよびイネ縞葉枯病の発生状況. 北農 47(8):15-25.
- 29) 梶野洋一 (1982) ヒメトビウンカの生態に関する研究 I. 冬期間の生存率. 道立農試集報 48:40-45.

- 30) 梶野洋一・八谷和彦 (1983) ヒメトビウンカの生態に関する研究 II. 越冬あけ幼虫の発育と第1回成虫の翅型の地域間差異. 道立農試集報 50:76-82.
- 31) 梶野洋一 (1992) 北海道におけるヒメトビウンカの生態とイネ縞葉枯病の防除に関する研究. 道立農試報告 77:1-63.
- 32) 釜野静也 (1983) 害虫の防除. 植物防疫講座-害虫編. 岩田俊一ら編. 日本植物防疫協会. 東京. p.100.
- 33) Kawai, A. and C. Kitamura (1987) Studies on Population Ecology of *Thrips palmi* KARNY XV. Evaluation of Effectiveness of Control Methods Using a Simulation Model. Appl. Ent. Zool. 22:292-302.
- 34) Kawai, A. and C. Kitamura (1990) Studies on Population Ecology of *Thrips palmi* KARNY 18. Evaluation of Effectiveness of Control Methods of Thrips on Eggplant and Sweet Pepper Using a Simulation Model. Appl. Ent. Zool. 25:161-175.
- 35) 河野達郎 (1966) 媒介昆虫個体群におけるウイルス保毒虫率の変動. 植物防疫 20:131-136.
- 36) 岸本良一 (1957) ウンカ類の翅型に関する研究 III. ウンカ類の長翅型と短翅型における形態的および生理的相違について. 応動昆 1:164-173.
- 37) 岸本良一 (1966) ヒメトビウンカの生態と防除. 植物防疫 20:126-130.
- 38) 岸本良一 (1979) ヒメトビウンカとイネ縞葉枯病をめぐる最近の動向. 植物防疫 33:209-213.
- 39) 岸本良一 (1980) 最近10年間ににおけるウンカ類の発生動向と対策 [植物防疫30年のあゆみ] 日本植物防疫協会編. 東京. p.370-375.
- 40) 岸本良一・山田佳廣・岡田斉夫・松井 正・伊藤清光 (1985) イネ縞葉枯病の流行機構. 植物防疫 39:531-537.
- 41) Kiritani, K., S. Kawahara, T. Sasaba and F. Nakasuji (1972) Quantitative Evaluation of Predation by Spiders on the Green Rice Leafhopper, *Nephotettix cincticeps* UHLER, by a Sight-count Methods. Res. Popul. Ecol. 13:187-200.
- 42) 小林四郎・柴田広秋 (1973) 水田とその周辺におけるクモ類の個体群変動, 害虫の生態的防除と関連して. 応動昆 17:193-202.
- 43) 小林 尚 (1960) 水田の天敵. 植物防疫 14:31-34.
- 44) 小林 尚 (1961) ニカメイチュウ防除の殺虫剤散布がウンカ・ヨコバイ類の生息密度におよぼす影響に関する研究. 病害虫発生予察特別報告第6号. 農林省振興局植物防疫課. 東京. 126pp.
- 45) 小林尚志・後藤忠則・石井正義・岩田 勉 (1968) イネ縞葉枯病の北海道における発生について. 日植病報 34:367.
- 46) 久野英二 (1968) 水田における稲ウンカ・ヨコバイ類個体群の動態に関する研究. 九州農試彙報 14(2):131-246.
- 47) 栗林数衛 (1931a) 稲縞葉枯病に関する研究. 長野農試報告 2:45-69.
- 48) 栗林数衛 (1931b) 稲縞葉枯病の伝染とヒメトビウンカとの関係に就きて. 病害虫雑誌 18(10):565-571.
- 49) Leslie, P. H. (1945) The Use of Matrices in certain population Mathematics. Biometrika 33:181-183.
- 50) 真野 豊 (1981) 昭和55年の発生にかんがみ注意すべき病害虫. 北農 48(6):30-46.
- 51) 真野 豊 (1984) 北海道農作物主要病害虫発生状況. 北国における病害虫との闘い. 北海道植物防疫協会. 札幌. p.142.
- 52) 村松義司 (1979) システムダイナミックス・モデルによるイネ縞葉枯病流行機作解析. 静岡農試研報 24:1-13.
- 53) 三宅利雄 (1932) 昆虫の休眠に関する研究(第1報). 昆虫 6:20-36, 47-65.
- 54) 宮下武則 (1992) 香川県におけるセジロウンカの発生実態と予察モデル. 植物防疫 46:212-214.
- 55) 持田 作・岸本良一 (1970) キタウンカ *Javassella pellusida* (F.) に関する知見. 九州農試報告 15:403-456.
- 56) 村岡 実・塩見正衛 (1986) カンキツ園におけるミカンハダニ発生動態のシステムモデルとそれによるシミュレーション. 佐賀県果試研報 9:103-123.
- 57) Nakasuji, F., S. Miyai, H. Kawamoto and K. Kiritani (1985) Mathematical Epidemiology of Rice Dwarf Virus Transmitted by Green Rice Leafhoppers: A Differential Equation Model. J. Appl. Ecol. 22:839-847.
- 58) Nagata, T. and T. Masuda (1978) Efficiency of Sticky Boards for Population Estimation of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* (STÅL) (Hemiptera: Delphacidae) on Rice Hills. Appl. Ent. Zool. 13:55-62.
- 59) 那須壮兆 (1963) 稲ウイルス病を媒介するウンカ・ヨコバイ類に関する研究. 九州農試彙報 8(2):153-349.
- 60) 日本応用動物昆虫学会 (1986) 昆虫の世代の呼び方. 応動昆 30:74-75.
- 61) 野田博明 (1989) イネウンカ3種の発育零点と有効積算温度. 応動昆 33:263-266.

- 62) 野田博明 (1990) ヒメトビウンカの休眠とその地理的変異. 植物防疫 44:437-441.
- 63) 岡田斉夫 (1988) 害虫管理への天敵微生物の利用. 植物防疫 42:517-520.
- 64) 岡本大二郎・平尾重太郎・寺口睦雄・岡田斉夫 (1967) イネ縞葉枯病媒介虫としてのヒメトビウンカに関する研究 (第1報) ヒメトビウンカの発生動態. 中国農試報告 E1:89-113.
- 65) 奥山七郎・梶野洋一 (1980) イネ縞葉枯病を媒介するヒメトビウンカの防除に関する研究 I. 本病の発生とウイルス保毒虫率の実態. 北農 47(7):10-22.
- 66) 奥山七郎・梶野洋一 (1981) イネ縞葉枯病を媒介するヒメトビウンカの防除に関する研究 III. 畦畔・育苗箱および本田防除の組合せによる総合的效果. 北農 48(6):13-29.
- 67) 奥山善雄・下田 高・吉田道雄 (1965) ヒメトビウンカの発生活長について. 鳥取農試研報 6:18-23.
- 68) 大久保宣雄 (1981) 稲ウンカ類の移動飛翔の行動学および生態学的研究. 自費出版. 141pp.
- 69) 大沢守一・佐藤利朗・永田 徹 (1989) ツマグロヨコバイの生息密度調査における粘着板法の捕獲効率. 北日本病虫研報 40:87-90.
- 70) Ôtake, A (1967) Studies on the Egg Parasites of the Smaller Brown Planthopper, *Laodelphax striatellus* (FALLÉN) (Himenoptera:Delphacidae). I. A Device for Assessing the Parasitic Activity, and the Results Obtained in 1966. Bull. Shikoku Agric. Exp. Sta. 17:91-103.
- 71) Ôtake, A (1970) Estimation of the Parasitism by *Anagrus nr. flaveolus* WATERHOUSE [Hymenoptera, Mymaridae]. Entomophaga 15:83-92.
- 72) Raatikainen, M. (1967) Bionomics, enemies and population dynamics *Javesella pellucida* (F.) (Hom., Delphacidae). Ann. Agr. Fenn., 6(27):1-149.
- 73) 斎藤 裕 (1989) ハダニ防除のためのシミュレーションの利用. 植物防疫 43:380-383.
- 74) 斎藤 裕・高藤晃雄・森 樊須 (1986) 薬剤散布環境下におけるハダニと天敵カブリダニ類の相互作用系を記述するシステムモデルの開発. 薬剤抵抗性カブリダニ類の検索とハダニ類の生物的防除への利用 (森 樊須 編), 昭和60年度科学研究費補助金 (試験研究 I) 研究成果報告書, p. 48-62.
- 75) 坂神泰輔・是永龍二 (1981) 有効積算温度の簡易な新算法 “三角法” について. 応動昆 25:52-54.
- 76) 酒井久馬 (1932) 大分地方産浮塵子類の敵虫と之が年内における消長に就いて (予報). 応動雑 4:128-130.
- 77) 酒井久馬 (1933) 大分地方産浮塵子類の敵虫とその季節的消長. 応動雑 5:125-128.
- 78) 三田久男 (1966) ウイルス病媒介生態からみたヒメトビウンカの移動. 農業技術 20:417-421.
- 79) 笹波隆文・川原幸夫 (1970) 水田に生息するクモ類の捕食性天敵としての役割. 植物防疫 24:355-360.
- 80) 柴田幸省 (1966) 栃木県におけるイネ縞葉枯病の発生と対策. 植物防疫 20:293-297.
- 81) 新海 昭 (1985) イネ縞葉枯病をめぐる諸情勢と問題点. 植物防疫 39:503-507.
- 82) 末永 一 (1963) セジロウンカ, トビイロウンカの異常発生機構に関する生態学的研究. 九州農試彙報 8:1-153.
- 83) 末永 一・中塚憲次 (1958) 稲ウンカ・ヨコバイ類の発生予察に関する総説. 病害虫発生予察特別報告 第1号. 農林省振興局植物防疫課. 東京. 468pp.
- 84) Suzuki, N., N. Aoki, K. Yamashita, M. Watanabe, K. Nozato, A. Ishida, K. Kiritani and S. Miyai (1985) Studies on Ecology and Behavior of Japanese Black Swallowtail Butterflies. 2. Daily Activity Patterns and Thermoregulation in Summer Generations of *Papilio helenus nicconicolens* BUTLER and *P. protenor demetrius* CRAMER (Lepidoptera: Papilionidae). Jap. J. Ecol. 35:21-30.
- 85) Suzuki, Y., K. Sogawa and Y. Seino (1996) Ovicidal Reaction of Rice Plants against the Whitebacked Planthopper, *Sogatella furcifera* HORVÁTH (Homoptera: Delphacidae). Appl. Ent. Zool. 31:111-118.
- 86) 鈴木芳人・清野義人・寒川一成 (1996) イネの生体防御反応によるウンカ類3種の卵死亡の比較. 応動昆・昆虫学会合同大会講演要旨:137.
- 87) 平 正博・市橋秀幸・山田偉雄 (1995) ヒメトビウンカとイネ縞葉枯病の発生予測シミュレーションモデルの開発. 岐阜県農総研報 8:1-22.
- 88) 高山隆夫 (1985) ヒメトビウンカの発生予察. 植物防疫 39:538-541.
- 89) 滝田泰章 (1977) 稲縞葉枯病の北関東における現状と対策. 今月の農業 22(1):88-91.
- 90) 栃木農試 (1935) 稲縞葉枯病とヒメトビウンカとの関係試験. 病害虫雑誌 22:456-459.
- 91) 栃木農試 (1937) ヒメトビウンカ吸収時間と稲縞葉枯病との関係試験. 稲の生育時期と稲縞葉枯病と関係試験. 病害虫雑誌 24:282-283.
- 92) 宇根 豊 (1987) 減農薬のイネづくり. 農山漁村文化協会. 東京. 168pp.

- 93) Verley, G. C. and G. R. Gradwell (1960) Key factors in population studies. J. Anim.Ecol. 29:399-401.
- 94) Watanabe,T., T.Wada and N.M.N.b.N.Salleh (1992) Parasitic Activities of Egg Parasitoids on the Rice Planthoppers, *Nilaparvata lugens*(STÅL) and *Sogatella furcifera*(HORVÁTH) (Homoptera:Delphacidae), in the Muda Area, Peninsular Malaysia. Appl.Entomol.Zool. 27:205-211.
- 95) 山田員人・足立 操 (1971) 降雨がヒメトビウンカ幼虫の死亡に及ぼす影響. 島根病害虫研究会報 4:3-4.
- 96) 山田 済・山本秀夫 (1955) 稲縞葉枯病に関する研究 第2報 本病の発生並に防除法について. 岡山農試臨時報告 52:113-124.
- 97) 山元四郎・末永 一 (1956) ツマグロヨコバイ及びヒメトビウンカの発育最低温度. 九州農研 17:110-111.
- 98) 矢野栄二 (1990) 害虫管理における個体群発育モデル. 植物防疫 44:320-325.
- 99) 安尾 俊・石井正義・山口富夫 (1965) 稲縞葉枯病に関する研究 I. 関東東山地域における稲縞葉枯病の発生機構に関する研究. 農事試報告 8:17-108.

付表1 個体群動態モデルのLASTRISのプログラムリスト

```

10      SAVE "A.LASTR-V2"
20 CLS 3: CONSOLE ...,1: COLOR 5
30 PRINT "=====
40 PRINT "===== LASTRISS =====
50 PRINT "==(北海道におけるヒメトビウカ発生消長シミュレーション
   モデル) ==="
60 PRINT "===== 1992年度版(Ver.2) =====
65 PRINT "===== Dec.25,1992 K.Hachiya =====
66 PRINT "=== FILE NAME = LASTR-V2.BAS,LASTR-V2.EXE ===
70 PRINT "=====
72 PRINT:PRINT:COLOR 6
74 PRINT TAB(17);"Ver.1 -- 発生予測(予察)モデル"
76 PRINT TAB(17);"Ver.2 -- 防除効果予測モデル"
78 PRINT:PRINT SPACE$(30);"INPUT "どちらにしますか?
   Ver.",VER%
80 IF VER%01 AND VER%02 GOTO 78
82 IF VER%=2 THEN GOSUB *BOJOHO
85
88 PRINT :COLOR 4 :PRINT " ***** 気象条件を設定します *****"
90 PRINT :COLOR 7
100 ' 設定
110      M0=430: M1=240: M2=320
120      D.EMERGENCE=.964
130      TE=110: T1=150.5: T2=183.1:
   T3=218.6: T4=258.3
140      T5F=320: T5M=314.2:
   TAO=380: TA12=360
150      SUV.R=1
160      CAP.AZE=.0667:
   CAP.P.A=.02: CAP.P.L=.01: CAP.HA=.014
170      R.FLYIN=.7: R.WHEAT=2
180      R.FLYOUT1=.033: R.FLYOUT2=.1
190 PRINT " どの地点にしますか"
200 INPUT " (1)旭川 (2)岩見沢 (3)大野 (4)その他 "PLS%:PRINT
210 IF PLS%1 OR PLS%4 GOTO 190
220 IF PLS%=4 GOTO 330
230
240 PRINT " どの気象条件にしますか"
250 PRINT " (1)平年値"
260 PRINT " (2)平年値を修正"
270 PRINT " (3)過年度観測値"
280 INPUT " (4)その他 "KISYO%:PRINT
290 IF KISYO%1 OR KISYO%4 GOTO 240
300 IF KISYO%=3 THEN INPUT " 何年の観測値を使いますか(1979-1992)
   "NEN$:PRINT
305 INPUT " 気象 DATA FILE の DRIVE は (A,B,C,...) "DRIV$
   :PRINT
310 IF KISYO%4 GOTO 400
320
330 PRINT " 気象データの入ったフロッピーをドライブに入れて下さい
   ".COLOR 6
340 PRINT " もし気象データを用意していなければ、このプログラムを
   STOPキーで"
350 PRINT " 中止し、LOTUS 1-2-3 で、既成ファイルと同じ様式の気象
   データファ"
360 PRINT " イルを作ってから、再起動して下さい.".COLOR 7

370 INPUT " ファイル名は何ですか (拡張子必要) ".FILENAME$
   PRINT
375 INPUT " 気象 DATA FILE の DRIVE は (A,B,C,...) "DRIV$
   :PRINT
380 OPEN DRIV$+"."+FILENAME$ FOR INPUT AS #1 :GOTO 590
390
400 IF PLS%=1 AND KISYO%3 THEN OPEN DRIV$ + ".ASA-HEI.PRN"
   FOR INPUT AS #1
410 IF PLS%=2 AND KISYO%3 THEN OPEN DRIV$ + ".IWA-HEI.PRN"
   FOR INPUT AS #1
420 IF PLS%=3 AND KISYO%3 THEN OPEN DRIV$ + ".ONO-HEI.PRN"
   FOR INPUT AS #1
430 IF PLS%=1 AND KISYO%=3 THEN OPEN DRIV$ + ".ASA-" + NEN$ +
   ".PRN" FOR INPUT AS #1
440 IF PLS%=2 AND KISYO%=3 THEN OPEN DRIV$ + ".IWA-" + NEN$ +
   ".PRN" FOR INPUT AS #1
450 IF PLS%=3 AND KISYO%=3 THEN OPEN DRIV$ + ".ONO-" + NEN$ +
   ".PRN" FOR INPUT AS #1
460
470 IF KISYO%02 GOTO 590
480 PRINT " 修正法を月別に指定して下さい"
490 PRINT " 気温は、平年値+X度C で -3<X<3 の範囲 (平年並なら
   X=0 )"
500 PRINT " 降水量は、平年値のY倍 で 0<Y<3 の範囲 (平年並なら
   Y=1 )"
510 INPUT " 4月 X=",X4:INPUT " Y=",Y4!
520 INPUT " 5月 X=",X5:INPUT " Y=",Y5!
530 INPUT " 6月 X=",X6:INPUT " Y=",Y6!
540 INPUT " 7月 X=",X7:INPUT " Y=",Y7!
550 INPUT " 8月 X=",X8:INPUT " Y=",Y8!
560 INPUT " 9月 X=",X9:INPUT " Y=",Y9!
570 INPUT " 10月 X=",X10:INPUT " Y=",Y10!
580 PRINT
590 COLOR 4:PRINT " ***** その他の計算条件を設定します *****
   "
600 COLOR 7:PRINT
610 INPUT " 4月から10月まで(214日間)の計算で良いですね (Y/N)
   ".DAYLNG$
620 IF DAYLNG$0"N" THEN DAYS%=214:PRINT:GOTO 665
630 PRINT " 何月何日まで計算しますか? "
640 INPUT " X月 Y日まで X=",XX:INPUT " Y=",YY: PRINT
650 DAYS%=CINT(.6*XX%-2.8)+30*XX%+YY%-120
660
665 IF VER%=2 THEN CNS=1:GOTO 730
670 PRINT " 計算途中で計算値を修正しますか".COLOR 6
680 PRINT " (修正する時は、まず1を選んで計算してみ、いつ(月日)"
690 PRINT " どんな修正(時期を何日、発生量を何倍)をするか決めて "
700 PRINT " から2を選んで下さい.).COLOR 7
710 INPUT " (1) 補正しない (2) 補正する どちらですか
   ".CNS:PRINT
720 IF CNS01 AND CNS02 GOTO 670
730 IF CNS=1 THEN CNSDATE%=215:GOTO 830
740 INPUT " 修正は1回です。いつ修正しますか(X月Y日)
   X=",XX%
750 INPUT " Y=",YY%

```

```

760 CNSDATE%=CINT(.6*XX%-2.8)+30*XX%+YY%-120
770 PRINT "          発生時期を何日ずらしますか"
780 INPUT "          (-10日<Z<+10日, 無修正はZ=0)
      Z=",CNSDAY%
790 PRINT "          発生量(卵,幼,成虫)を何倍しますか"
800 INPUT "          (0.1<W<10, 無修正はW=1
      W=",CNSRATE
810 PRINT
820
830 PRINT "  初期個体数(春の畦畔越冬幼虫数)を設定します(必ず設定し
      て下さい)"
840 PRINT "          (1) 10平方m幼虫数 "
850 INPUT "          (2) 20回振りすくい取り幼虫数      どちらで設定し
      ますか ",LB
860 IF LB<1 AND LB<2 THEN 830
870 PRINT: INPUT "          幼虫数 = ",INL: PRINT
880 IF LB=2 THEN INL=INL/CAP.AZE
890
900 PRINT:PRINT:COLOR 4:PRINT "      **** 結果出力法を指定します *
      ***"
910 PRINT:COLOR 7
920 PRINT "  どの表現にしますか "
930 PRINT "          (1) グラフ(画面)"
940 PRINT "          (2) 毎日の卵,幼虫,成虫の個体数一覧表(プリンター)"
950 PRINT "          (3) 各世代の卵,幼虫,成虫の発生型一覧表(画面)"
960 INPUT "          ",P%:PRINT
970 IF P%<1 OR P%>3 GOTO 920
975 IF P%=2 THEN INPUT "          何月何日からプリントしますか(X月Y日)
      X=",XX%
976 IF P%=2 THEN INPUT "          Y=",YY%
977 IF P%=2 THEN STDP%=CINT(.6*XX%-2.8)+30*XX%+YY%-120:
      PRINT
980 IF P%<1 GOTO 1020
990 PRINT "          縦軸の1目盛りは"
1000 PRINT "          初期個体数の何倍にしますか"
1010 INPUT "          ( 1-5 倍 程度 )          ",UNIVAX:PRINT
1020 IF P%=1 GOTO 1100
1030 PRINT "          どちらの表現にしますか"
1040 PRINT "          (1) 単位面積あたり個体数(畦畔10平方m,水田100
      平方m)"
1050 PRINT "          (2) 捕獲個体数(20回振りすくい取り,50株払い落
      し,)"
1060 PRINT "          ただし,卵は100平方mあ
      たり)"
1070 INPUT "          ",HH: PRINT
1080 IF HH<1 AND HH<2 THEN 1030
1090
1100 COLOR 6:PRINT "  設定を終わります. 計算を始めて良いですか(Y)"
1110 INPUT "          それとも,設定をやりなおしますか(N)
      ",AG$:COLOR 7
1120 IF AG$="N" THEN RUN "LASTR-V2"
1130
1140 '-----
1150 CLS
1160 DIM S(200),N(200),DIA(200)
1170 FOR I=0 TO 200: S(I)=0: N(I)=0: DIA(I)=0: NEXT I
1180 K=0
1190 ' 越冬幼虫数  II:10% III:50% IV:40% 計 100% とし
1200 G=1: S(G)=155: N(G)=.0167*INL
1210 G=2: S(G)=160: N(G)=.0167*INL
1220 G=3: S(G)=165: N(G)=.0167*INL
1230 G=4: S(G)=170: N(G)=.0167*INL
1240 G=5: S(G)=175: N(G)=.0167*INL
1250 G=6: S(G)=180: N(G)=.0167*INL
1260 G=7: S(G)=185: N(G)=.0714*INL
1270 G=8: S(G)=190: N(G)=.0714*INL
1280 G=9: S(G)=195: N(G)=.0714*INL
1290 G=10: S(G)=200: N(G)=.0714*INL
1300 G=11: S(G)=205: N(G)=.0714*INL
1310 G=12: S(G)=210: N(G)=.0714*INL
1320 G=13: S(G)=215: N(G)=.0714*INL
1330 G=14: S(G)=220: N(G)=.05*INL
1340 G=15: S(G)=225: N(G)=.05*INL
1350 G=16: S(G)=230: N(G)=.05*INL
1360 G=17: S(G)=235: N(G)=.05*INL
1370 G=18: S(G)=240: N(G)=.05*INL
1380 G=19: S(G)=245: N(G)=.05*INL
1390 G=20: S(G)=250: N(G)=.05*INL
1400 G=21: S(G)=255: N(G)=.05*INL
1410 S(0)=T4: EARG1=22: SUM.REAL.E.TEMP=0
1420 IF P%=1 THEN 1460
1430 COLOR 6:LOCATE 28,9:PRINT "ただ今      日目を計算中です"
1440 LOCATE 31,11:PRINT "しばらく お待ち下さい":COLOR 7
1450
1460 ON P% GOTO 1470,1770,1970
1470 'GRAPH SET
1480 SCREEN 0,0,0,1
1490 WINDOW (0,-6)-(214,0)
1500 VIEW (50,0)-(639,160)
1510 LINE (0,-6)-(214,0),,B
1520 FOR I=1 TO 5:LINE(0,-I)-(214,-I):NEXT I
1530 LINE (31,0)-(61,-6),,B
1540 LINE (91,0)-(122,-6),,B
1550 LINE (153,0)-(183,-6),,B
1560 LOCATE 0,0:PRINT "  6"
1570 LOCATE 0,6:PRINT "  4"
1580 LOCATE 0,13:PRINT "  2"
1590 LOCATE 0,19:PRINT "  0"
1600 LOCATE 8,0:COLOR 7:PRINT "水田100平方mあたり個体数を表
      示"
1610 LOCATE 8,1:PRINT "(ただし,4,5,10月の幼虫は畦畔10平方mあ
      たり)"
1620 LOCATE 8,2:PRINT "初期幼虫数は畦畔10平方mあたり",INL,"頭"
1630 LOCATE 8,3:COLOR 3:PRINT "卵数 =縦軸*20*初期幼虫数*
      ",UNIVAX
1640 LOCATE 8,4:COLOR 4:PRINT "幼虫数=縦軸*10*初期幼虫数*
      ",UNIVAX
1650 LOCATE 8,5:COLOR 6:PRINT "成虫数=縦軸*1*初期幼虫数*
      ",UNIVAX
1660 COLOR 7:LOCATE 8,7
1670 IF PLS%=4 OR KISYO%=4 THEN PRINT "ファイル名
      ",FILNAME$
1680 IF PLS%=1 THEN PRINT "旭川-";
1690 IF PLS%=2 THEN PRINT "岩見沢-";
1700 IF PLS%=3 THEN PRINT "大野-";
    
```

```

1710 IF KISYO%=1 THEN PRINT "平年値"
1720 IF KISYO%=2 THEN PRINT "平年値を修正"
1730 IF KISYO%=3 THEN PRINT NEN$;"年"
1740 LOCATE 10,21:PRINT "4月      5月      6月      ";
1750 PRINT " 7月      8月      9月      10月"
1760 GOTO 2030
1770 'DAILY NUMBER
1780 LPRINT:LPRINT
1790 IF PLS%=4 OR KISYO%=4 THEN LPRINT "ファイル名 ";FILNA
    ME$
1800 IF PLS%=1 THEN LPRINT "旭川-";
1810 IF PLS%=2 THEN LPRINT "岩見沢-";
1820 IF PLS%=3 THEN LPRINT "大野-";
1830 IF KISYO%=1 THEN LPRINT "平年値"
1840 IF KISYO%=2 THEN LPRINT "平年値を修正"
1850 IF KISYO%=3 THEN LPRINT NEN$;"年"
1860 LPRINT: IF HH=2 GOTO 1900
1870 LPRINT "単位面積あたり個体数"
1880 LPRINT "(単位面積は、越冬幼虫と10月が畦畔10平方m,他が水田
    100平方m)"
1890 LPRINT:GOTO 1940
1900 LPRINT "卵は水田100平方mあたり個数"
1910 LPRINT "幼虫は20回振りすくい取り(越冬世代と10月は畦畔,他は
    水田)頭数"
1920 LPRINT "成虫は、越冬世代が水田50株払い落とし頭数"
1930 LPRINT "      第1,2世代が水田20回振りすくい取り頭数"
    ".LPRINT
1940 LPRINT " 月日      卵      1令      2令      3令
    4令";
1950 LPRINT "      5令  ♀成虫  ♂成虫".LPRINT
1960 GOTO 2030
1970 'SUMMARY TABLE
1980 ADULT=0: AMAX0=0: AMAX1=0: AMAX2=0: AMIN01=0: AMIN1
    2=0
1990 EGG=0: EMAX1=0: EMAX2=0: EMIN12=0
2000 NYMP=0: NMAX1=0: NMAX2=0: NMIN12=0
2010 '
2020 '-----
2030 FOR DAY=1 TO DAYS%
2040 IF P%◇1 THEN LOCATE 35,9:PRINT DAY
2050 '温度
2060 '発生時期の変更
2070 IF CNSDAY%≠0 OR DAY◇CNSDATE% THEN 2120
2080 DAY=DAY+CNSDAY%
2090 FOR J=1 TO CNSDAY%*4
2100 INPUT #1,KARA
2110 NEXT J
2120 IF EOF(#1) THEN END
2130 IF CNSDAY%≠0 GOTO 2180
2140 IF DAY<CNSDATE% OR DAY>CNSDATE%-CNSDAY%
    THEN GOTO 2180
2150 K=K+1: IF K◇INT(K/2)*2 THEN 2190
2160 IF K=INT(K/2)*2 THEN DAY=DAY-1
2170 '温度計算
2180 INPUT #1,DDAY,RL.MAX,RL.MIN,RAIN
2190 IF KISYO%◇2 GOTO 2270
2200 IF DAY<31 THEN RL.MAX=RL.MAX+X4:
    RL.MIN=RL.MIN+X4:
2210 IF DAY>30 AND DAY<62 THEN RL.MAX=RL.MAX+
    X5: RL.MIN=RL.MIN+X5:
2220 IF DAY>61 AND DAY<92 THEN RL.MAX=RL.MAX+
    X6: RL.MIN=RL.MIN+X6:
2230 IF DAY>91 AND DAY<123 THEN RL.MAX=RL.MAX+
    X7: RL.MIN=RL.MIN+X7:
2240 IF DAY>122 AND DAY<154 THEN RL.MAX=RL.MAX+
    X8: RL.MIN=RL.MIN+X8:
2250 IF DAY>153 AND DAY<184 THEN RL.MAX=RL.MAX+
    X9: RL.MIN=RL.MIN+X9:
2260 IF DAY>183 THEN RL.MAX=RL.MAX+X10:
    RL.MIN=RL.MIN+X10:
2270 MAX=RL.MAX+.5: MIN=RL.MIN+.5
2280 IF DAY<=30 THEN MAX=MAX+2:MIN=MIN+2
2290 IF DAY>30 AND DAY<=61 THEN MAX=MAX+1:MIN=MIN
    +1
2300 TEMP=(MAX+MIN)/2
2310 IF MAX<=11 THEN E.TEMP=0
2320 IF MIN>=11 THEN E.TEMP=(MAX+MIN)/2-11
2330 IF MAX>11 AND MIN<11 THEN E.TEMP=(MAX-11)
    -2/(2*(MAX-MIN))
2340 '生長 と 休眠
2350 FOR I=1 TO G
2360 IF S(EARG1)>T5F THEN E.A.TEMP=11.5 ELSE E.A.TE
    MP=12
2370 IF S(EARG1)>TA12+T5F THEN E.A.TEMP=i2.5
2380 IF S(I)>T5F AND E.TEMP>E.A.TEMP THEN S(I)=S(I)+
    E.A.TEMP
2390 IF S(I)>T5F AND E.TEMP>E.A.TEMP THEN ELSE S(I)=S
    (I)+E.TEMP
2395 IF PLS%=3 THEN 2432
2400 IF DAY<123 GOTO 2470
2410 IF S(I)<=TE OR S(I)>TE+E.TEMP GOTO 2440
2420 DIA(I)=1/(1+EXP(61.115-.45951*DAY))
2430 IF DAY>143 THEN DIA(I)=1
2431 GOTO 2440
2432 IF DAY<128 GOTO 2470
2433 IF S(I)<=TE OR S(I)>TE+E.TEMP GOTO 2440
2434 DIA(I)=1/(1+EXP(63.4126-.45951*DAY))
2435 IF DAY>148 THEN DIA(I)=1
2440 IF S(I)<=T4 OR S(I)>T4+E.TEMP GOTO 2470
2450 N(0)=N(0)+N(I)*DIA(I)
2460 N(I)=N(I)*(1-DIA(I))
2470 NEXT I
2480 '死亡
2490 '卵寄生率
2500 RL.E.TEMP=(RL.MAX-11)-2/(2*(RL.MAX-RL.MIN))
2510 IF RL.MAX<=11 THEN RL.E.TEMP=0
2520 IF RL.MIN>=11 THEN RL.E.TEMP=(RL.MAX+RL.MIN)
    /2-11
2530 SUM.RL.E.TEMP=SUM.RL.E.TEMP+RL.E.TEMP
2540 SRET=SUM.RL.E.TEMP/100
2550 R.HATCHING=1.66333-.751435*SRET+.111872*SRET^2-.
    004602*SRET^3
2560 IF R.HATCHING>1 THEN R.HATCHING=1
2570 '成虫寿命
2580 M=M0
2590 IF S(EARG1)>T5F THEN M=M1

```

```

2600      IF S(EARG1)>TA12+T5F THEN M=M2
2610      '降雨死亡率
2620      IF KISYO%<2 GOTO 2700
2630      IF DAY<31 THEN RAIN=RAIN*Y4!
2640      IF DAY>30 AND DAY<62 THEN RAIN=RAIN*Y5!
2650      IF DAY>61 AND DAY<92 THEN RAIN=RAIN*Y6!
2660      IF DAY>91 AND DAY<123 THEN RAIN=RAIN*Y7!
2670      IF DAY>122 AND DAY<154 THEN RAIN=RAIN*Y8!
2680      IF DAY>153 AND DAY<184 THEN RAIN=RAIN*Y9!
2690      IF DAY>183 THEN RAIN=RAIN*Y10!
2700      S.RAIN1=1-1.5*RAIN/(302.5+.013*RAIN):IF S.RAIN1<0
      THEN S.RAIN1=0
2710      S.RAIN2=1-RAIN/(302.5+.013*RAIN):IF S.RAIN2<0
      THEN S.RAIN2=0
2730      '捕食死亡率
2740      S.PRED=1-.002*E.TEMP
2750      '死亡
2760      FOR I=0 TO G
2770      IF S(I)>TE AND S(I)<=TE+E.TEMP THEN N(I)=N(I)*
      R.HATCHING
2780      IF S(I)>T5F AND S(I)<=T5F+E.TEMP THEN N(I)=N(I)*
      D.EMERGENCE
2790      IF D=EARG1 GOTO 2810
2800      IF S(I)>TA0 AND S(I)<=TA0+E.TEMP THEN N(I)=N
      (I)*R.FLYIN
2810      IF S(I)<=T5F+E.TEMP GOTO 2860
2820      D1=1/(1+EXP(3.3*(S(I)-T5F-M)/M))
2830      D2=1/(1+EXP(3.3*(S(I)-T5F-E.TEMP-M)/M))
2840      D.ADULT=D1/D2
2850      N(I)=N(I)*D.ADULT
2860      NEXT I
2870      FOR I=0 TO G
2880      IF S(I)>TE AND S(I)<=T2 THEN N(I)=N(I)*SUV.R*S.RA
      IN1*S.PRED
2890      IF S(I)>T2 THEN N(I)=N(I)*SUV.R*S.RAIN2*S.PRED
2900      NEXT I
2910      '麦畑からの飛来
2920      FOR I=1 TO G
2930      IF I<EARG1 OR S(EARG1)>TA12+T5F THEN 2950
2940      IF S(I)>T5F AND S(I)<=T5F+E.TEMP THEN N(I)=N(I)*
      R.WHEAT
2950      NEXT I
2960      '畦畔への移出
2970      IF DAY<184 GOTO 3030
2980      FOR I=0 TO G
2990      IF S(I)<=TE OR S(I)>T5M THEN N(I)=0
3000      IF S(I)>TE AND S(I)<=T1 THEN N(I)=N(I)*R.FLYOUT1
3010      IF S(I)>T1 AND S(I)<=T5M THEN N(I)=N(I)*R.FLYOUT2
3020      NEXT I
3030      '計算値の修正(発生量)
3040      IF CNSDAY%>=0 AND DAY=CNSDATE%+CNSDAY% THEN
      3060
3050      IF CNSDAY%<0 AND DAY=CNSDATE%-CNSDAY% THEN E
      LSE GOTO 3081
3060      FOR I=0 TO G
3070      N(I)=N(I)*CNSRATE
3080      NEXT I
3081      '畦畔防除

```

```

3082      IF BOJOUNE$="Y" AND DAY=UNEDAY% THEN GOSUB *
      BOJOAZE
3083      '茎葉散布
3084      IF BOJOHA$="Y" THEN GOSUB *BOJOKUKI
3085      '水面施用
3086      IF BOJOSUI$="Y" THEN GOSUB *BOJOSUIM
3087      '育苗箱施用
3088      IF BOJOHAK$="Y" THEN GOSUB *BOJONAE
3090      '個体数集計
3100      NOE=0: NOL1=0: NOL2=0: NOL3=0: NOL4=0: NOL5=0: NOAF
      =0: NOAM=0
3110      FOR I=0 TO G
3120      IF S(I)<=TE THEN NOE=NOE+N(I)
3130      IF S(I)>TE AND S(I)<=T1 THEN NOL1=NOL1+N(I)
3140      IF S(I)>T1 AND S(I)<=T2 THEN NOL2=NOL2+N(I)
3150      IF S(I)>T2 AND S(I)<=T3 THEN NOL3=NOL3+N(I)
3160      IF S(I)>T3 AND S(I)<=T4 THEN NOL4=NOL4+N(I)
3170      IF S(I)>T4 AND S(I)<=T5M THEN NOL5=NOL5+N(I)
3180      IF S(I)>T5M AND S(I)<=T5F THEN NOL5=NOL5+N(I)/2
3190      IF D=EARG1 GOTO 3240
3200      IF S(I)>T5M+TA0-T5F AND S(I)<=TA0 THEN NOAM=
      NOAM+N(I)/4
3210      IF S(I)>TA0 THEN NOAM=NOAM+N(I)/2
3220      IF S(I)>TA0 THEN NOAF=NOAF+N(I)/2
3230      GOTO 3270
3240      IF S(I)>T5M AND S(I)<=T5F THEN NOAM=NOAM+N(I)
      /2
3250      IF S(I)>T5F THEN NOAM=NOAM+N(I)/2
3260      IF S(I)>T5F THEN NOAF=NOAF+N(I)/2
3270      NEXT I
3280      '産卵
3290      IF S(EARG1)>TA12 THEN TA=TA12 ELSE TA=TA0
3300      NOF=0
3310      FOR I=0 TO G
3320      IF S(I)>TA THEN NOF=NOF+N(I)/2
3330      NEXT I
3340      IF NOF=0 THEN GOTO 3460
3350      IF S(EARG1)>TA12 THEN 3390
3360      IF TEMP<3.15 THEN OVIP=0
3370      IF TEMP>=3.15 THEN OVIP=-2.26+.718*TEMP
3380      GOTO 3430
3390      IF TEMP<10 THEN OVIP=0
3400      IF TEMP>=10 AND TEMP<16 THEN OVIP=-3.883+.38
      83*TEMP
3410      IF TEMP>=16 AND TEMP<26 THEN OVIP=32.74-4.067
      *TEMP+.1354*TEMP^2
3420      IF TEMP>=26 THEN OVIP=18.53
3430      IF OVIP<0 THEN GOTO 3460
3440      G=G+1: S(G)=(TEMP-11)/2: N(G)=NOF*OVIP
3450      NOE=NOE+N(G)
3460      IF P%<2 OR HH<2 GOTO 3540
3470      IF S(EARG1)>TE AND DAY<184 THEN NOL1=NOL1*CAP.P.L
      ELSE NOL1=NOL1*CAP.AZE
3480      IF S(EARG1)>TE AND DAY<184 THEN NOL2=NOL2*CAP.P.L
      ELSE NOL2=NOL2*CAP.AZE
3490      IF S(EARG1)>TE AND DAY<184 THEN NOL3=NOL3*CAP.P.L
      ELSE NOL3=NOL3*CAP.AZE
3500      IF S(EARG1)>TE AND DAY<184 THEN NOL4=NOL4*CAP.P.L

```

```

ELSE NOL4=NOL4*CAP.AZE
3510 IF S(EARG1)>TE AND DAY<184 THEN NOL5=NOL5*CAP.P.L
ELSE NOL5=NOL5*CAP.AZE
3520 IF S(EARG1)<T5M THEN NOAM=NOAM*CAP.HA ELSE NOAM=
NOAM*CAP.P.A
3530 IF S(EARG1)<T5M THEN NOAF=NOAF*CAP.HA ELSE NOAF=N
OAF*CAP.P.A
3540 印刷
3550 ON P% GOTO 3560,3610,3730
3560 'GRAPH
3570 CIRCLE (DAY,-NOE/INL/UNIVAX/20),1,3
3580 CIRCLE (DAY,-(NOL1+NOL2+NOL3+NOL4+NOL5)
/INL/UNIVAX/10),1,4
3590 CIRCLE (DAY,-(NOAF+NOAM)/INL/UNIVAX),1,6
3600 GOTO 4150
3610 'DAILY NUMBER
3615 IF DAY<STDP% THEN GOTO 3720
3620 M.DAY=4+DAY/100
3630 IF M.DAY>4.3 THEN M.DAY=M.DAY+.7
3640 IF M.DAY>5.31 THEN M.DAY=M.DAY+.69
3650 IF M.DAY>6.3 THEN M.DAY=M.DAY+.7
3660 IF M.DAY>7.31 THEN M.DAY=M.DAY+.69
3670 IF M.DAY>8.31 THEN M.DAY=M.DAY+.69
3680 IF M.DAY>9.3 THEN M.DAY=M.DAY+.7
3690 LPRINT USING"###.DAY:LPRINT "(";
3700 LPRINT USING"###.###.M.DAY:LPRINT ")";
3710 LPRINT USING"#####.###.NOE,NOL1,NOL2,
NOL3,NOL4,NOL5,NOAF,NOAM
3720 GOTO 4150
3730 'SUMMARY TABLE
3740 IF AMAX0<0 GOTO 3780
3750 IF ADULT<=NOAF+NOAM THEN ADULT=NOAF+N
OAM:AI=0 ELSE AI=AI+1
3760 IF AI=7 THEN AMAX0=ADULT:ADULT=AMAX0:AI=0:
AMAX0D=DAY-7
3770 GOTO 3910
3780 IF AMIN0<0 GOTO 3820
3790 IF ADULT>=NOAF+NOAM THEN ADULT=NOAF+N
OAM:AI=0 ELSE AI=AI+1
3800 IF AI=7 THEN AMIN0=ADULT:ADULT=AMIN0:AI=0
3810 GOTO 3910
3820 IF AMAX1<0 GOTO 3860
3830 IF ADULT<=NOAF+NOAM THEN ADULT=NOAF+N
OAM:AI=0 ELSE AI=AI+1
3840 IF AI=7 THEN AMAX1=ADULT:ADULT=AMAX1:AI=0:
AMAX1D=DAY-7
3850 GOTO 3910
3860 IF AMIN1<0 GOTO 3900
3870 IF ADULT>=NOAF+NOAM THEN ADULT=NOAF+N
OAM:AI=0 ELSE AI=AI+1
3880 IF AI=7 THEN AMIN1=ADULT
3890 GOTO 3910
3900 IF AMAX2<=NOAF+NOAM THEN AMAX2=NOAF+N
OAM:AMAX2D=DAY
3910
3920 IF EMAX1<0 GOTO 3960
3930 IF EGG<=NOE THEN EGG=NOE:EI=0 ELSE EI=EI+1
3940 IF EI=7 THEN EMAX1=EGG:EGG=EMAX1:EI=0:EMAX1

```

```

D=DAY-7
3950 GOTO 4030
3960 IF EMIN12<0 GOTO 4000
3970 IF EGG>=NOE THEN EGG=NOE:EI=0 ELSE EI=EI+1
3980 IF EI=7 THEN EMIN12=EGG:EGG=EMIN12:EI=0
3990 GOTO 4030
4000 IF EMAX2<0 GOTO 4030
4010 IF EGG<=NOE THEN EGG=NOE:EI=0 ELSE EI=EI+1
4020 IF EI=7 THEN EMAX2=EGG:EMAX2D=DAY-7
4030
4040 IF AMAX0=0 GOTO 4150
4050 NOLA=NOL1+NOL2+NOL3+NOL4+NOL5
4060 IF NMAX1<0 GOTO 4100
4070 IF NYMP<=NOLA THEN NYMP=NOLA:NI=0 ELSE NI=
NI+1
4080 IF NI=7 THEN NMAX1=NYMP:NYMP=NMAX1:NI=0:NM
AX1D=DAY-7
4090 GOTO 4150
4100 IF NMIN12<0 GOTO 4140
4110 IF NYMP>=NOLA THEN NYMP=NOLA:NI=0 ELSE NI=
NI+1
4120 IF NI=7 THEN NMIN12=NYMP
4130 GOTO 4150
4140 IF NMAX2<=NOLA THEN NMAX2=NOLA:NMAX2D=D
AY
4150 NEXT DAY
4160 -----
4170 IF P%<1 THEN CLS
4180 IF P%<3 THEN 4950
4190 WIDTH 80,20
4200 SCREEN 0,0,0,1
4210 WINDOW (0,0)-(80,20)
4220 VIEW (0,0)-(639,199)
4230 LINE (0,3)-(80,16),,B
4240 LINE (0,4)-(80,6),,B
4250 LINE (0,10)-(80,14),,B
4260 LINE (28,3)-(42,16),,B
4270 LINE (10,4)-(10,14):LINE (16,3)-(16,14)
4280 IF PLS%=4 OR KISO%=4 THEN PRINT "ファイル名 ",FILNAM
ES
4290 IF PLS%=1 THEN PRINT "旭川-";
4300 IF PLS%=2 THEN PRINT "岩見沢-";
4310 IF PLS%=3 THEN PRINT "大野-";
4320 IF KISO%=1 THEN PRINT "平年値"
4330 IF KISO%=2 THEN PRINT "平年値を修正"
4340 IF KISO%=3 THEN PRINT "NEN$,"年"
4350 IF HH=1 THEN PRINT "初期幼虫数は,畦畔10平方mで";INL;"頭"
4360 IF HH=2 THEN PRINT "初期幼虫数は,畦畔20回振りて";INL*CA
P.AZE;"頭"
4370 COLOR 5:PRINT "計算結果";COLOR 6
4375 PRINT TAB(36);"(旭川,岩見沢の定点予測以外は平年比のみ見
よ)":COLOR 7
4380 PRINT "世代,ステージ 最盛日 最盛時個体数";
4390 PRINT "表示法"
4400 A0MON=FIX(AMAX0D/30.61)+4: A0DAY=AMAX0D-FIX(FIX(AM
AX0D/30.61)*30.61)
4410 A1MON=FIX(AMAX1D/30.61)+4: A1DAY=AMAX1D-FIX(FIX(AM
AX1D/30.61)*30.61)

```

```

4420 A2MON=FIX(AMAX2D/30.61)+4: A2DAY=AMAX2D-FIX(FIX(AM
      AX2D/30.61)*30.61)
4430 N1MON=FIX(NMAX1D/30.61)+4: N1DAY=NMAX1D-FIX(FIX(NM
      AX1D/30.61)*30.61)
4440 N2MON=FIX(NMAX2D/30.61)+4: N2DAY=NMAX2D-FIX(FIX(NM
      AX2D/30.61)*30.61)
4450 E1MON=FIX(EMAX1D/30.61)+4: E1DAY=EMAX1D-FIX(FIX(EM
      AX1D/30.61)*30.61)
4460 E2MON=FIX(EMAX2D/30.61)+4: E2DAY=EMAX2D-FIX(FIX(EM
      AX2D/30.61)*30.61)
4470 IF PLS%≦2 AND PLS%≦3 THEN D0=82:D1=124:D2=156
4480 IF PLS%=2 THEN D0=78:D1=125:D2=153
4490 IF PLS%=3 THEN D0=85:D1=133:D2=163
4500 IF PLS%≦2 AND PLS%≦31 THEN G0=.239376:G1=5.94512:G2=6
      .2369:G3=4.53706
4510 IF PLS%=2 THEN G0=.254132:G1=7.4615:G2=18.20
      89:G3=24.0663
4520 IF PLS%=3 THEN G0=.218267:G1=5.35569:G2=3.28
      771:G3=3.07502
4530 PRINT "越冬世代 成虫 ";A0MON;"月";A0DAY;"日 ";
4540 IF HH=2 THEN PRINT AMAX0*CAP.HA; ELSE PRINT AMAX0;
4550 PRINT "頭";COLOR 6:IF AMAX0D>D0 THEN HI$="(比+" ELSE
      HI$="(比"
4560 PRINT TAB(17);HI$:AMAX0D-D0;"日) (比";CINT(AMAX0/INL/
      G0*100)/100;"倍)"
4570 COLOR 7:PRINT " 第1世代 卵 ";E1MON;"月";E1DAY;"日 ";E
      MAX1;"個"
4580 PRINT " 幼虫 ";N1MON;"月";N1DAY;"日 ";
4590 IF HH=2 THEN PRINT NMAX1*CAP.P.L; ELSE PRINT NMAX1;
4600 PRINT "頭";PRINT " 成虫 ";A1MON;"月";A1DAY;"日
      ";
4610 IF HH=2 THEN PRINT AMAX1*CAP.P.A; ELSE PRINT AMAX1;
4620 PRINT "頭";COLOR 6:IF AMAX1D>D1 THEN HI$="(比+" ELSE
      HI$="(比"
4630 PRINT TAB(17);HI$:AMAX1D-D1;"日) (比";CINT(AMAX1/INL/
      G1*100)/100;"倍)"
4640 COLOR 7:PRINT " 第2世代 卵 ";E2MON;"月";E2DAY;"日 ";E
      MAX2;"個"
4650 PRINT " 幼虫 ";N2MON;"月";N2DAY;"日 ";
4660 IF HH=2 THEN PRINT NMAX2*CAP.P.L; ELSE PRINT NMAX2;
4670 PRINT "頭";PRINT " 成虫 ";A2MON;"月";A2DAY;"日
      ";
4680 IF HH=2 THEN PRINT AMAX2*CAP.P.A; ELSE PRINT AMAX2;
4690 PRINT "頭";COLOR 6:IF AMAX2D>D2 THEN HI$="(比+" ELSE
      HI$="(比"
4700 PRINT TAB(17);HI$:AMAX2D-D2;"日) (比";CINT(AMAX2/INL/
      G2*100)/100;"倍)"
4710 COLOR 7:PRINT " 秋期畦畔越冬幼虫 ";
4720 NYMPH=NOL1+NOL2+NOL3+NOL4+NOL5: IF HH=2 THEN
      NYMPH=NYMPH*CAP.AZE
4730 PRINT NYMPH;"頭";COLOR 6
4740 PRINT TAB(29);"(比";CINT((NOL1+NOL2+NOL3+NOL4+NOL5)
      /INL/G3*100)/100;"倍)"
4750 COLOR 7:PRINT "計算終了.";
4760 PRINT " プリントアウトしたい時は[COPY]キーを押してください
      "
4770 S$="水田";K$="畦畔";H$="50株払い落とし";SC$="20回振りすくい取り"
4780 T$="頭数";KS$="個数";HE$="( )内は成虫最盛期と増殖率の平均対
      比"
4790 MS="100平方mあたり";MK$="10平方mあたり"
4800 LOCATE 43,4:IF HH=1 THEN PRINT S$;M$;T$ ELSE PRINT S$;
      H$;T$
4810 LOCATE 43,5:PRINT HE$
4820 LOCATE 43,6:PRINT S$;M$;KS$
4830 LOCATE 43,7:IF HH=1 THEN PRINT S$;M$;T$ ELSE PRINT S$;
      SC$;T$
4840 LOCATE 43,8:IF HH=1 THEN PRINT S$;M$;T$ ELSE PRINT S$;
      SC$;T$
4850 LOCATE 43,9:PRINT HE$
4860 LOCATE 43,10:PRINT S$;M$;KS$
4870 LOCATE 42,11:PRINT "第3世代含む.";
4880 IF HH=1 THEN PRINT S$;M$;T$ ELSE PRINT S$;SC$;T$
4890 LOCATE 43,12:IF HH=1 THEN PRINT S$;M$;T$ ELSE PRINT S
      $;SC$;T$
4900 LOCATE 43,13:PRINT HE$
4910 LOCATE 43,14:IF HH=1 THEN PRINT K$;MK$;T$ ELSE PRINT
      K$;SC$;T$
4920 LOCATE 43,15:PRINT HE$
4930 ' IF PLS%=3 THEN LOCATE 17,13:PRINT "(大野では計算不可)"
4940 LOCATE 0,18
4950 BEEP :INPUT "終了です. もう1度やりますか (Y/N) ";AGN$
4960 IF AGN$="Y" THEN RUN "LASTR-V2" ELSE END
6000 *BOJOHO
6010 PRINT :COLOR 4:PRINT " ***** 防除法を指定します *****
      "
6020 PRINT :COLOR 7
6030 PRINT " 防除法は 1.畦畔防除 2.育苗箱施用"
6040 PRINT " 3.水面施用 4.茎葉散布 の4種です."
6050 PRINT :INPUT "1.畦畔防除を行いますか(Y/N)";BOJOUNE$
6060 IF BOJOUNE$="N" GOTO 6130
6070 PRINT " 散布日は5月1日です."
6080 INPUT " 殺虫率はどれにしますか(1. 80% 2. 90% 3.
      95%).";UNER%
6090 IF UNER%≧3 OR UNER%≦1 THEN 6080
6100 UNEDAY%=31:IF UNER%=1 THEN UNERITU=.2
6110 IF UNER%=2 THEN UNERITU=.1
6120 IF UNER%=3 THEN UNERITU=.05
6130 PRINT :INPUT "2.育苗箱施用を行いますか(Y/N)";BOJOHAK$
6140 IF BOJOHAK$="N" GOTO 6210
6150 PRINT " 移植日は5月20日です." :ISYOKU%=50
6160 PRINT " 殺虫剤はどれにしますか."
6170 PRINT " 1.長期残効性粒剤(アドマイヤー粒剤等)"
6180 PRINT " 2.即効性短期残効粒剤(サンサイド粒剤等)"
6190 INPUT " 3.他害虫用同時防除粒剤(エカマート粒剤等)
      ";HAKOR%
6200 IF HAKOR%≧3 OR HAKOR%≦1 THEN 6160
6210 PRINT :INPUT "3.水面施用を行いますか(Y/N)";BOJOSUI$
6220 IF BOJOSUI$="N" GOTO 6310
6230 PRINT " 散布日はいつにしますか(X月Y日)"
6240 INPUT " X=";XX%;INPUT " Y=";YY%
6250 SUIDAY%=CINT(.6*XX%-2.8)+30*XX%+YY%-120
6260 PRINT " 殺虫剤はどちらにしますか."
6270 PRINT " 1.浸透移行性粒剤(D.S粒剤等)"
6280 INPUT " 2.非浸透移行性粒剤(トレボン粒剤等)
      ";SUIR%
    
```

```

6290 IF SUIR%01 AND SUIR%02 THEN GOTO 6260
6300 IF SUIR%=2 THEN INPUT " SUVIVAL RATE=",SUIRITU
6310 PRINT :INPUT "4.茎葉散布を行いますか(Y/N)";BOJOHA$
6320 IF BOJOHA$="N" GOTO 6600
6330 PRINT:INPUT " 何回散布しますか(1-5回)? ",HAKAI%
6340 IF HAKAI%(1 OR HAKAI%5) THEN GOTO 6330
6350 DIM KUKIBI(HAKAI%),SUW(3,6),SUVR(HAKAI%,6)
6360 SUW(1,1)=.01:SUW(2,1)=.05:SUW(3,1)=.2
6370 SUW(1,2)=.02:SUW(2,2)=.1:SUW(3,2)=.3
6380 SUW(1,3)=.03:SUW(2,3)=.15:SUW(3,3)=.5
6390 SUW(1,4)=.04:SUW(2,4)=.18:SUW(3,4)=.7
6400 SUW(1,5)=.05:SUW(2,5)=.2:SUW(3,5)=.7
6410 SUW(1,6)=.05:SUW(2,6)=.2:SUW(3,6)=.7
6420 FOR I=1 TO HAKAI%: PRINT
6430 PRINT " " "I."回目散布":INPUT " X月Y日
X=":XX%
6440 INPUT " Y=:YY%
6450 KUKIBI(I)=CINT(.6*XX%-2.8)+30*XX%+YY%-120
6460 PRINT SPC(23);" ";
6470 INPUT "薬剤の種類は 1.強 2.中 3.弱 ";ECT%
6480 IF ECT%(1 OR ECT%)3 THEN 6460
6490 FOR J=1 TO 6
6500 SUVR(I,J)=SUW(ECT%,J)
6510 NEXT J
6520 NEXT I
6600 RETURN
7000
7010 *BOJOAZE
7020 FOR I=0 TO G
7030 N(I)=N(I)*UNERITU
7040 NEXT I
7050 RETURN
7100 *BOJOKUKI
7110 FOR I=1 TO HAKAI%
7120 IF DAY0KUKIBI(I) THEN GOTO 7210
7130 FOR J=0 TO G
7135 IF J<EARG1 AND S(J)<TA0 THEN GOTO 7200
7140 IF S(J)>TE AND S(J)<=T1 THEN N(J)=N(J)*SUVR
(I,1)
7150 IF S(J)>T1 AND S(J)<=T2 THEN N(J)=N(J)*SUVR
(I,2)
7160 IF S(J)>T2 AND S(J)<=T3 THEN N(J)=N(J)*SUVR
(I,3)
7170 IF S(J)>T3 AND S(J)<=T4 THEN N(J)=N(J)*SUVR
(I,4)
7180 IF S(J)>T4 AND S(J)<=T5F THEN N(J)=N(J)*SUV
R(I,5)
7190 IF S(J)>T5F THEN N(J)=N(J)*SUVR(I,6)
7200 NEXT J
7210 NEXT I
7220 RETURN
7230 *BOJOSUIM
7240 IF SUIR%=1 GOTO 7310
7250 IF DAY0SUIDAY% THEN RETURN
7260 FOR I=1 TO G
7270 IF I<EARG1 AND S(I)>TA0 THEN N(I)=N(I)*SUIRITU
7280 IF I>=EARG1 AND S(I)>TE THEN N(I)=N(I)*SUIRITU
7290 NEXT I
7300 RETURN
7310 IF DAY<SUIDAY% OR DAY>=SUIDAY%+30 THEN RETURN
7320 SUIM=DAY-SUIDAY%
7330 SUIM=.97943-.006709*SUIM+2.5283*10^-4*SUIM^2
7350 FOR I=1 TO G
7360 IF I<EARG1 AND S(I)>TA0 THEN N(I)=N(I)*SUIM
7370 IF I>=EARG1 AND S(I)>TE THEN N(I)=N(I)*SUIM
7380 NEXT I
7390 RETURN
7500 *BOJONAE
7510 IF DAY<ISYOKU% THEN RETURN
7520 IF DAY=ISYOKU% THEN ISYOT=SUM.RL.E.TEMP
7530 HAKS=SUM.RL.E.TEMP-ISYOT
7535 IF HAKOR%=2 AND HAKS>300 THEN RETURN
7540 IF HAKOR%=1 THEN HAKS=.1971-1.40777/10^3*HAKS+7.28
85/10^6*HAKS^2
7550 IF HAKOR%=2 THEN HAKS=.04651+6.52231/10^3*HAKS-1.0
8385/10^5*HAKS^2
7560 IF HAKOR%=3 THEN HAKS=.899884-2.44326/10^4*HAKS+2.
57388/10^6*HAKS^2
7570 IF HAKS>=1 THEN HAKS=1 :RETURN
7580 HAKS=EXP(LOG(HAKS)/5)
7590 HEIT=.297791+.279839*DAY-8.94239/10^4*DAY^2
7600 HAKS=EXP(LOG(HAKS)*(RL.MAX+RL.MIN)/2/HEIT)
7610 FOR I=0 TO G
7620 IF I<EARG1 AND S(I)>TA0 THEN N(I)=N(I)*HAKS
7630 IF I>=EARG1 AND S(I)>TE THEN N(I)=N(I)*HAKS
7640 NEXT I
7650 RETURN

```

付表2 個体群動態モデルLASTRISの計算結果出力例 (様式1: 卵, 各齢幼虫および雌雄成虫の日別個体数)

岩見沢-1987年

卵は水田100平方mあたり個数

幼虫は20回振りすくい取り (越冬世代と10月は畦畔, 他は水田) 頭数

成虫は, 越冬世代が水田50株払い落とし頭数

第1, 2世代が水田20回振りすくい取り頭数

月 日	卵	1 令	2 令	3 令	4 令	5 令	♀成虫	♂成虫
1 (4. 01)	0.00	0.00	6.68	33.34	26.68	0.00	0.00	0.00
2 (4. 02)	0.00	0.00	6.68	33.34	26.68	0.00	0.00	0.00
3 (4. 03)	0.00	0.00	6.68	33.33	26.68	0.00	0.00	0.00
4 (4. 04)	0.00	0.00	6.68	33.33	26.68	0.00	0.00	0.00
5 (4. 05)	0.00	0.00	6.68	33.33	26.68	0.00	0.00	0.00
6 (4. 06)	0.00	0.00	6.68	33.32	26.67	0.00	0.00	0.00
7 (4. 07)	0.00	0.00	6.60	33.05	26.45	0.00	0.00	0.00
8 (4. 08)	0.00	0.00	6.52	32.77	26.23	0.00	0.00	0.00
9 (4. 09)	0.00	0.00	6.51	32.76	26.22	0.00	0.00	0.00
10 (4. 10)	0.00	0.00	6.08	31.30	25.05	0.00	0.00	0.00
11 (4. 11)	0.00	0.00	5.91	30.73	24.60	0.00	0.00	0.00
12 (4. 12)	0.00	0.00	5.72	30.07	24.07	0.00	0.00	0.00
13 (4. 13)	0.00	0.00	5.55	29.48	23.59	0.00	0.00	0.00
14 (4. 14)	0.00	0.00	5.50	29.28	23.43	0.00	0.00	0.00
15 (4. 15)	0.00	0.00	5.46	29.14	23.32	0.00	0.00	0.00
16 (4. 16)	0.00	0.00	5.45	29.09	23.28	0.00	0.00	0.00
17 (4. 17)	0.00	0.00	5.43	28.99	23.20	0.00	0.00	0.00
18 (4. 18)	0.00	0.00	4.51	25.69	24.38	2.89	0.00	0.00
19 (4. 19)	0.00	0.00	4.48	25.53	24.23	2.87	0.00	0.00
20 (4. 20)	0.00	0.00	3.57	22.21	25.33	5.72	0.00	0.00
21 (4. 21)	0.00	0.00	2.64	22.85	22.23	8.49	0.00	0.00
22 (4. 22)	0.00	0.00	2.61	18.62	26.01	8.40	0.00	0.00
23 (4. 23)	0.00	0.00	2.60	18.54	25.90	8.37	0.00	0.00
24 (4. 24)	0.00	0.00	2.52	18.18	25.38	8.20	0.00	0.00
25 (4. 25)	0.00	0.00	2.48	18.00	25.13	8.12	0	
26 (4. 26)	0.00	0.00	2.48	18.00	25.13	8.12		
27 (4. 27)	0.00	0.00	2.48	17.97	25.10			1.34
28 (4. 28)	0.00	0.00	2.47	17.95	25.07		28	1.28
29 (4. 29)	0.00	0.00	1.64	14.86			1.24	1.24
30 (4. 30)	0.00	0.00	0.81	11		0.00	1.22	1.22
31 (5. 01)	0.00	0.00	0.00		略	0.00	1.20	1.20
32 (5. 02)	0.00	0.00		中	1.63	0.00	1.16	1.16
33 (5. 03)	0.00	0.00		.58	2.93	0.00	1.09	1.09
34 (5. 04)	0.00			11.44	6.78	0.00	1.05	1.05
35 (5. 05)	0		21.03	17.18	9.25	0.00	1.00	1.00
36 (5. 06)			20.52	19.21	10.76	1.38	0.93	0.93
37		11.24	17.30	20.27	13.76	2.57	0.89	0.89
	1.30	10.77	14.97	20.01	14.76	5.96	0.85	0.85
	10812.10	9.27	11.05	21.48	14.61	7.86	0.79	0.79
(7. 08)	10186.10	9.31	10.32	18.01	16.93	10.69	0.75	0.75
100 (7. 09)	9822.71	8.58	9.64	13.12	19.80	14.21	1.02	1.34
101 (7. 10)	9481.11	7.28	8.90	10.99	18.86	17.07	1.46	2.29
102 (7. 11)	8232.34	7.01	7.49	7.03	18.13	18.62	4.58	5.85
103 (7. 12)	7758.06	7.98	5.53	6.21	17.44	19.28	6.74	8.16
104 (7. 13)	7142.56	7.31	5.46	5.81	14.85	21.75	6.22	11.04
105 (7. 14)	6593.50	6.91	4.90	5.24	13.13	22.70	12.30	14.72
106 (7. 15)	8029.81	5.78	5.19	5.16	7.99	24.22	22.44	22.44
107 (7. 16)	8638.56	4.31	5.28	4.92	7.16	23.43	21.11	24.33
108 (7. 17)	9583.70	3.27	4.16	3.88	5.95	17.73	27.00	28.69
109 (7. 18)	15601.40	3.10	3.40	3.98	5.40	15.38	32.88	34.80
110 (7. 19)	25830.70	3.12	2.50	4.09	5.38	11.93	40.30	41.79
111 (7. 20)	33031.10	3.17	2.34	3.87	4.95	9.51	46.22	47.30
112 (7. 21)	39436.70	3.11	2.20	3.85	4.29	8.58	49.98	49.98
113 (7. 22)	47588.20	2.82	2.03	3.03	4.29	7.82	50.30	50.30
114 (7. 23)	64469.00	2.46	2.07	2.94	3.67	6.70	51.23	52.74
115 (7. 24)	90176.50	2.54	2.16	1.97	4.17	6.14	51.85	52.93
116 (7. 25)	116200.00	4.59	1.87	2.61	2.80	6.22	53.85	53.85
117 (7. 26)	146647.00	8.69	1.53	2.63	2.70	5.04	53.46	54.52
118 (7. 27)	179089.00	18.06	1.76	1.97	2.40	5.20	52.68	53.78
119 (7. 28)	204456.00	33.04	3.78	2.13	2.39	4.03	53.50	54.10
120 (7. 29)	225853.00	42.12	7.58	1.27	2.41	3.92	52.99	53.59
121 (7. 30)	239594.00	42.62	15.92	1.14	2.20	3.66	50.07	50.65
122 (7. 31)	240407.00	57.91	12.76	3.34	1.91	3.57	48.81	49.43
123 (8. 01)	232866.00	76.76	26.68	4.69	2.24	2.92	48.25	48.81
124 (8. 02)	213479.00	119.83	36.71	6.63	1.61	3.21	47.83	47.83
125 (8. 03)	220240.00	118.21	36.21	6.19	1.47	3.11	47.34	47.34
126 (8. 04)	204645.00	169.65	38.60	11.98	3.49	3.20	45.21	45.71
127 (8. 05)	214177.00	148.29	37.78	24.71	4.68	2.98	43.68	44.13
128 (8. 06)	190509.00	197.20	58.03	33.80	6.12	2.80	42.58	43.04
129 (8. 07)	164553.00	244.18	97.04	35.93	13.48	2.59	41.18	41.71

以 下 略

付表3 個体群動態モデルLASTRISの計算結果出力例 (様式2: 各世代発生ピーク一覧表)

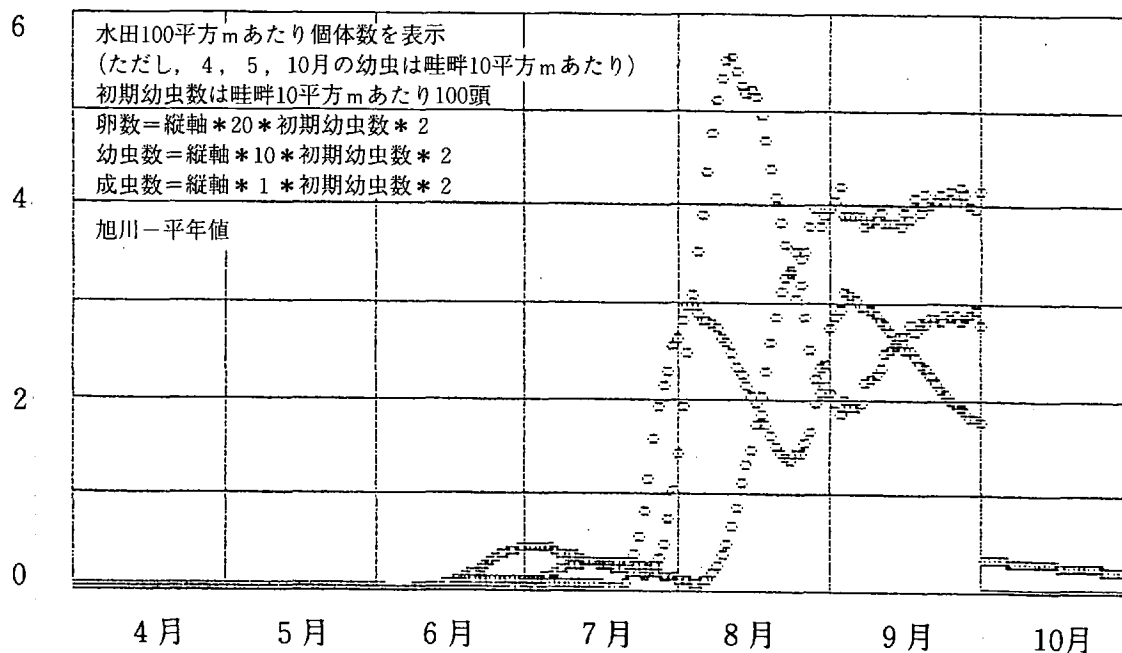
旭川-1992年

初期幼虫数は、畦畔20回振りで66.7頭

計算結果

(旭川、岩見沢の定点予測以外は平年比のみ見よ)

世代, ステージ		最 盛 日	最盛時個数体	表 示 法
越冬世代	成虫	6月23日 (比+2日)	3.21689頭 (比.96倍)	水田50株払い落とし頭数 ()内は成虫最盛期と増殖率の平年対比
第1世代	卵	6月30日	17967.5個	水田100平方mあたり個数
	幼虫	7月17日	60.232頭	水田20回振りすくい取り頭数
	成虫	7月29日 (比-4日)	107.582頭 (比.9倍)	水田20回振りすくい取り頭数 ()内は成虫最盛期と増殖率の平年対比
第2世代	卵	8月24日	114944個	水田100平方mあたり個数
	幼虫	9月 9日	462.929頭	第3世代含む、水田20回振りすくい取り頭数
	成虫	9月 6日 (比+3日)	35.1138頭 (比.28倍)	水田20回振りすくい取り頭数 ()内は成虫最盛期と増殖率の平年対比
秋期畦畔越冬幼虫			120.767頭 (比.4倍)	畦畔20回振りすくい取り頭数 ()内は増殖率の平年対比



付図1 個体群動態モデルLASTIRSの計算出力例 (様式3: 発生消長図)

注) パソコンの画面では色分けして表示している。

Studies on the Population Dynamics and the Pest Management of Small Brown Planthoppers, *Laodelphax striatellus* FALLÉN.

—Occurrence Forecasting and Optimum Chemical Control of Small Brown Planthoppers Based on the Dynamic System Model.—

by

Kazuhiko HACHIYA

Summary

The Small brown planthopper, *Laodelphax striatellus* FALLÉN, is a principal insect pest of paddy rice, not only as the vector of rice stripe virus, but also causes direct sucking damage. In recent years, it became a more important pest and the chemical applications against it are increasing in number, in Hokkaido. It is urgently required that the most suitable applications are applied effectively in proper timing based on accurate forecasting of pest occurrence. In this paper, the dynamic system model that simulates the seasonal prevalence of pest occurrence under controlled and non-controlled conditions was reported and its availability in the forecasting of occurrence are discussed. The most suitable insecticide applications were also proposed based on it.

1. The features of population dynamics of the small brown planthopper

The characteristics of population dynamics were analyzed in order to decide the framework of the model, and the following features were found:

- 1) Annual fluctuation of each generation's population density was large and that of later generations was larger than that of earlier ones. It is considered that density regulation mechanisms like concentration on certain density levels of population was weak and the multiplication pattern of this insect's population was simple.
- 2) The number of generations was a mixture of two or three each year, and the mixture ratios fluctuated annually.
- 3) As to the overwintering generation(G_0), the decrease rate of population density of adults in paddy fields starting from the overwintering nymphs in areas surroundings the paddy fields was stable.
- 4) The mortality of nymphs was low in paddy fields, and the increase rate of adults of the first generation(G_1) to G_0 was very high and stable.
- 5) The increase rate of adults of the second generation(G_2) to G_1 was relatively low and not stable compared with that of G_1 to G_0 because of the diapause and the fluctuation of diapause rate in nymphal stage of G_2 .
- 6) The population density of G_1 was high in wheat fields, and a large number of adults emerged just before the ripening of wheat and migrated to the rice paddy from the wheat fields.

Based on the features described above, it was considered to be possible to construct a model of seasonal population growth which was based on the repetition of individual growth and multiplication, including the parameters of temperature, mortality, migration, diapause, etc., and a model that calculates the daily fluctuation in number was considered to make it possible to simulate easily the seasonal prevalence of occurrence and control effect of insecticide.

2. Quantitative analysis of parameters on population dynamics

The following parameters were established experimentally in laboratories and fields:

- 1) The developmental zeros and the effective accumulative temperatures of egg and each instar nymph.
- 2) The physiological longevity and survival curve of adults of each generation. The relationship between longevity of adults and temperature. Disregard of physiological and behavioral differences between macropterous and brachypterous forms.
- 3) The length of the period from eclosion to onset of egg-laying in adult stage. The daily number of deposited eggs after the onset of egg-laying, and the relationship between the number of deposited eggs and temperatures on each day.
- 4) The difference of air temperature between habitat and atmosphere, and between insect body and habitat.
- 5) The diapause ratio of nymphs on each day.
- 6) The parasitism ratio of eggs derived from the temperatures accumulated from April. Daily mortalities of nymphs and adults by predators derived from daily temperatures, and the mortalities originating from weather conditions derived from daily precipitations. Disregard of death by diseases and sinking of eggs in water.
- 7) The period and rate of invasion of G_0 adults from overwintering habitat around paddy fields into paddy fields. The period and number of immigration of G_1 adults from wheat fields. The rate of emigration of diapausing nymphs from paddy fields to the surrounding habitat in autumn.
- 8) Classification of chemicals of foliage application based on those insecticidal activities. The survival rates of each instar nymph and adult after the foliage application of each categorical chemicals. Absence of residual effectiveness and ovicidal action of those chemicals.
- 9) Classification of chemicals used for submerged application in paddy water into systemic and non-systemic insecticide categories. As for the former, the relationship between daily survival rates of insects and days after application. As for the latter, the survival rate of insects just after the application and absence of residual effectiveness. Absence of ovicidal action and suppression effect against egg-laying with chemicals used for submerged application.
- 10) Classification of chemicals of seedling application based on those insecticidal activities and residual effectiveness. The relationships between duration after transplanting and daily survival rates of insects with each categorical chemicals. The influence of temperature on daily survival rates in application fields. Absence of ovicidal action and suppression effect against egg-laying with chemicals used on seedling application.

Parameters on the instar distribution ratio of initial population and on the relationship between the population density and the number of insects counted on field survey were also established.

As for the insecticide application against the overwintering nymphs in areas surroundings the paddy fields, the control effect on the paddy field population wasn't elucidated clearly, and the parameters on this application method were excluded from the model.

3. Construction of the system model

A computer program was constructed which calculated the daily fluctuation of population number from the initial population composed of overwintering nymphs in areas surroundings paddy fields on April 1st till the end of October according to the factors such as weather conditions and insecticide application.

1) As the result of comparison tests at three non-controlled paddy fields located in Hokkaido in the last fifteen years, the seasonal fluctuations of population density calculated by the model based on the initial actual population density and weather conditions observed in the field agreed satisfactorily with the observed densities. Especially the calculated occurrence periods of each generation correlated well with observed ones ($r=0.665 \sim 0.872$), and the hit proportions between them were 50~93%.

2) As a result of the comparison tests mentioned above, the correlation between the calculated population density and the observed one on the maximum period of G_2 adult was $r=0.872$ and that on the pre-overwintering period of nymphs in autumn was $r=0.816$ in Asahikawa. These values were apparently larger than that of the comparison with the density deduced from the mean growth rate. Correlation on G_0 was lower than that on the other

generations because of low accuracy in field survey of G_0 . Correlation in Asahikawa was higher than that in other localities because most of the parameters were established based on the data obtained in Asahikawa.

3) Successive population density fluctuation over fifteen years derived from the calculated seasonal fluctuations connected with the survival rate of the overwintering period agreed approximately with observed fluctuation.

4) Under controlled conditions, the calculated fluctuation of population density agreed well with the observed ones at five farm fields where insecticides were ordinarily applied three to four times in July to August, so that the parameters of foliage application were proven to be proper.

5) As for the submerged and seedling applications of insecticide, the calculated fluctuations of population density agreed approximately with the observed ones at one and three farm fields where submerged and seedling applications were done respectively, so that the parameters of these application methods were proven to be almost proper.

4. Forecasting of occurrence and control effect by means of the system model

The seasonal prevalence of occurrence were simulated by means of the system model under controlled and uncontrolled conditions, and the following information was obtained:

1) It was shown to be possible to forecast numerically the occurrence by means of the system model based on the weather forecast and on the assumed weather conditions.

2) Feeding injury was probable to occur by G_2 in the case where more than two hundred G_1 adults were captured by twenty sweepings of the net. If G_1 occurred earlier than the average year and high temperature condition was expected to continue, feeding injury was probable to occur when more than fifty G_1 adults were captured.

3) The control effect of foliage, submerged and seedling applications which were applied before the heading stage of rice were different from each other and varied significantly with the type of insecticide. Seedling application of the insecticide that was rapid and lasted long, suppressed exceedingly the population density and had a remarkable control effect in comparison with all other kinds of controls applied before the heading stage.

4) Proper periods of foliage and submerged applications against G_0 and G_1 were short, and one application of these kinds of controls was insufficient to obtain good control effect.

5) The control effects of foliage applications against summer generations depended on the application period and declined remarkably at the maximum density period of G_1 adults and G_2 eggs.

6) In the case that feeding injury was caused by the outbreak of summer generations, three applications of proper insecticides were sufficient to obtain good control effect. The proper interval of dual or more foliage applications was about a week.

5. Discussion

The merits of the system model was that it enabled numerical forecasting of occurrence with high accuracy on the basis of the weather forecast, and the occurrence of feeding injury by summer generations were foreseeable one generation before. The system model also made it possible to acquire useful information about suitable insecticide applications that had minimum cost and maximum effect, and to recommend concrete control methods under various conditions. The model was assumed to become an important device to improve the management of small brown plant-hoppers.