

1,000頭未満の成虫はマツを枯らせないと考えられた（第8章5）。

上記のような知見から、罹病木の時間的空間的分布は4つの過程を通して形成されると考えられる。その第一は、脱出直後のマツノマダラカミキリ成虫によるものである。枯死木から脱出後、成虫はランダムに分散する。このため、1年を通してみると、枯死木に隣接した健全木に多数の成虫がいたことになる。脱出直後の成虫は少数しかマツノザイセンチュウを伝播しないが、それらが多数いたことによって、枯死木周囲の健全木は多数のマツノザイセンチュウを伝播され発病することになる（調査林分では全枯死木を除去したので、上記の過程による罹病木は発生しなかった）。

第二は、分散後性成熟するまでのマツノマダラカミキリ成虫によるものである。枯死木から分散後性成熟するまで、成虫は衰弱木と無関係に行動して後食を行い、集合しない。この時、マツノザイセンチュウ初期保持数が10,000頭以上の成虫によって罹病木が発生すると考えられる。

第三は、性成熟後のマツノマダラカミキリ成虫によるものである。性成熟した成虫は罹病木とその周囲の健全木に集まる。これは、罹病木の樹脂滲出機能が停止し（MAMIYA、1983）、衰弱木になるためである。マツノザイセンチュウ初期保持数の多い成虫は短命なので、集合した多くの成虫のマツノザイセンチュウ初期保持数は10,000頭未満である。これらの成虫のうち、初期保持数が1,000頭以上の成虫は、脱出の30～35日後に伝播のピークがあり、その時平均370頭/5日のマツノザイセンチュウを伝播する。このため、そのような成虫の集中分布によって罹病木（衰弱木）近くの健全木が新たに罹病することになる。この結果、罹病木ひいては枯死木が集団的に発生することになる。初期保持数が1,000頭未満の成虫はマツノザイセンチュウをほとんど伝播しないので、罹病木の発生と無関係である。

第四は、材線虫病の履歴効果によるものである。すなわち、前年に罹病木が集団的に発生した場所で、当年の6、7月に罹病木が発生しやすいという履歴効果によって罹病木が発生する場合である（本章3）。

マツノマダラカミキリ成虫は6、7月に枯死木から出現し、9月末にはいなくなる。それ故、第一、第二および第四の過程によってシーズン初期の罹病木が発生すると考えられる。そして、その後の罹病木は主に第三の過程によって発生すると考えられる。

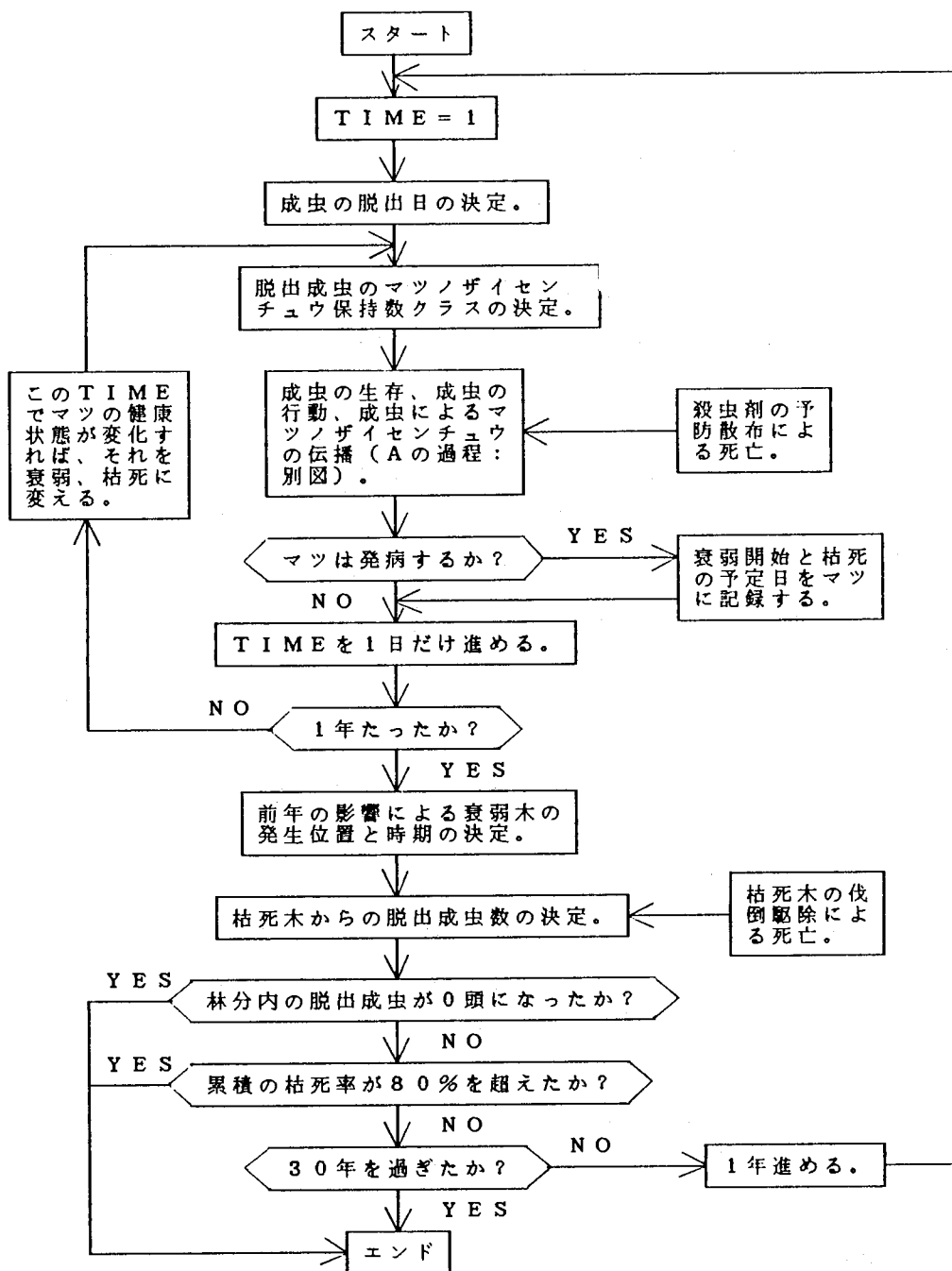
気象条件は成虫の行動と材線虫病の発病に影響する。たとえば、マツにおける成虫の停留率と雌の産卵前期間は気温に依存し（森本ら、1975；岩崎・竹谷、1980）、降雨の場合成虫は飛翔しない（YAMANE、1980）。また、気温と土壌含水率は材線虫病の発病に影響する（e.g. 清原、1973；峰尾、1976）。このため、実際の罹病木の時間的空間的発生パターンに気象条件は複雑に影響すると考えられるが、罹病木の分布形成過程の主要な機構は上記のとおりであろう。

## 第10章 マツ林における枯損動態と防除のシミュレーション・モデル

マツノマダラカミキリ—マツノザイセンチュウの防除のために、種々の技術が確立されている。これらの個々の技術とそれらの組合せの効果を系統的に評価して、現行の防除の問題点を明瞭にし、有効な防除体系を抽出するためには、マツ林における枯損動態のシミュレーション・モデルを作成する必要がある。

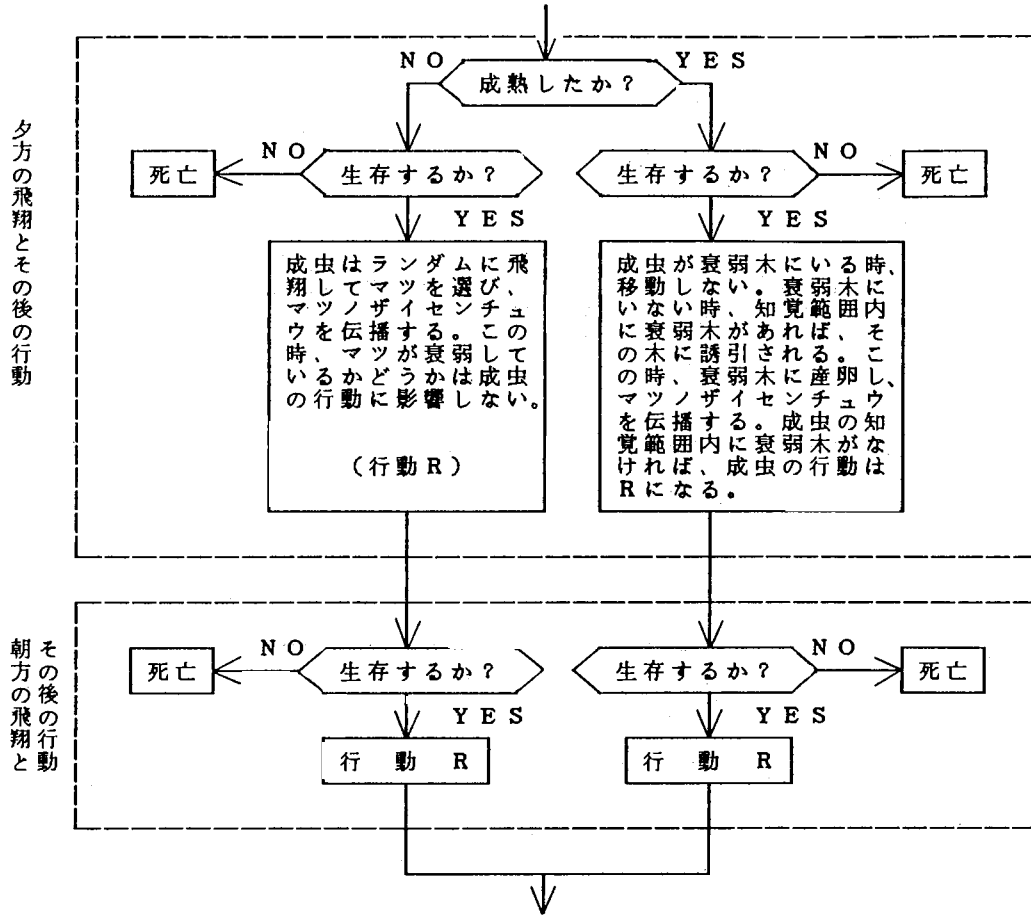
ここでは、これまでの各章で得られたマツノマダラカミキリとマツノザイセンチュウとマツの生

メイン・プログラム



第55図 マツ林の枯損動態のシミュレーション・モデルのためのフロー・チャート。成虫の生存、行動および成虫によるマツノザイセンチュウの伝播はAの過程として右図に示した。成虫の生存率およびマツノザイセンチュウ伝播数は成虫の日齢とマツノザイセンチュウ初期保持数に依存する。

A の 過 程



(第55図右図)

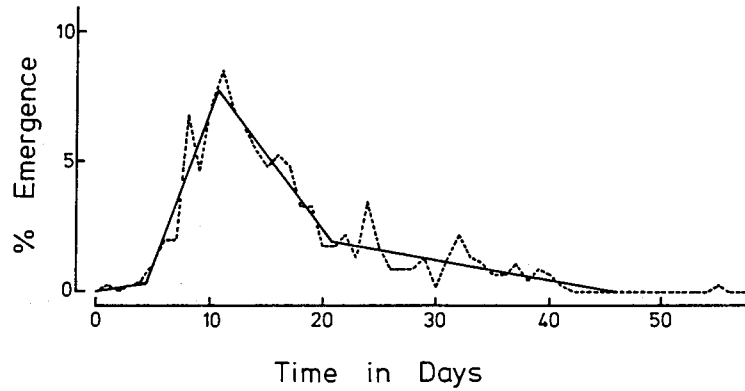
態的性質およびそれらの相互関係の定量的データに基づいて、マツ林における枯損動態のシミュレーション・モデルを作成し、殺虫剤の予防散布と枯死木の伐倒駆除および材線虫病抵抗性のマツ林造成の効果を評価し、マツノマダラカミキリ・マツノザイセンチュウの防除に対する提言を行った。

1. モデルの構造と仮定

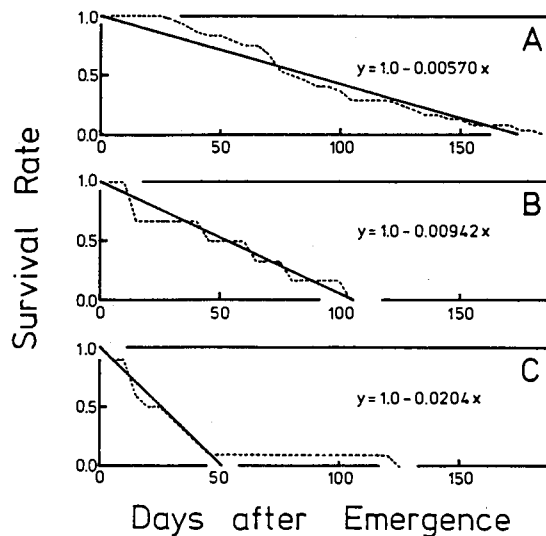
モデルは、材線虫病罹病木の時間的空間的分布の形成過程に関する仮説（第9章4）に基づいてつくられた。モデルの構造を第55図のフロー・チャートに示した。次にモデルに用いた仮定やデータについて述べる。

マツ林は正方形で、マツは一定間隔（2m）で植栽されている。各マツの樹皮表面積は2.5㎡である。このマツ林は他のマツ林から隔離され、成虫は林外から移入しない。

被害は、林内中央部にマツノマダラカミキリとマツノザイセンチュウの生息する被害材を持ち込んだことから起こる。その翌年から、成虫は林内の枯死木から脱出する。成虫は雌だけで、すべての個体が産卵すると仮定する。成虫の脱出期間は毎年6月14日から7月30日までである。各枯死木の成虫の脱出日を、脱出曲線に従う乱数によって決定する。ここでは石川県の1979年の脱出消長のデータを用いた（第56図）。成虫のマツノザイセンチュウ初期保持数を1,000頭未満、1,000～9,999頭および10,000頭以上の3つのクラスに分け、それぞれ0.4、0.3、0.3の確率で脱出成虫がどのクラ



第56図 マツノマダラカミキリ成虫の脱出消長。破線は1979年の成虫の脱出消長を、実線はシミュレーション・モデルに用いた成虫の脱出消長を示す。

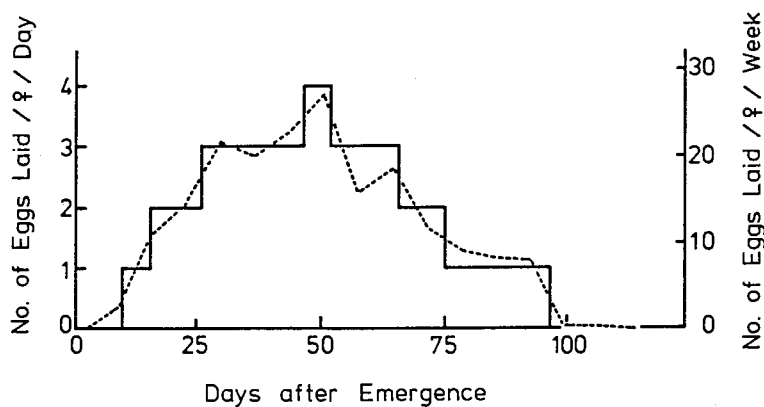


第57図 マツノマダラカミキリ成虫の生存曲線とマツノザイセンチュウ初期保持数の関係。A、B、C図は、それぞれマツノザイセンチュウ初期保持数が1,000頭未満、1,000～9,999頭、10,000頭以上の成虫の生存曲線を示す。図中の破線が実測値、実線がシミュレーション・モデルに用いた生存曲線を表す。

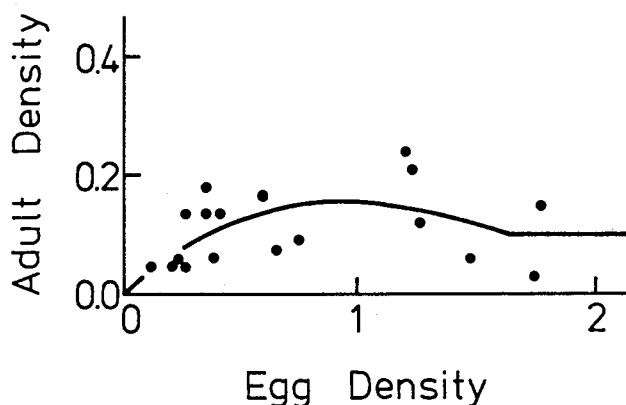
スに入るかを決定した。

脱出成虫の生存率は、マツノザイセンチュウ初期保持数のクラスに依存して異なる（第57図）。

成虫は夕方に枯死木から脱出し（井戸・武田、1976）、その後夕方と早朝に樹間を移動する（井戸ら、1975b；井戸・武田、1976）。成虫が未成熟な場合、樹間移動は2次元のランダム分散になる。この時の移動距離は、1980年に林内で放された成虫の移動距離の分布に従う（INOUE（1978）の式のパラメータ  $\phi_s = 0.9589391$ 、 $\phi_l = 0.9857530$ 、 $\rho_s = 5.90$ 、 $\rho_l = 59.7$ ）。移動先のマツが枯死している時、成虫はさらにランダム分散を行なう。移動先のマツが健全かまたは衰弱している時、



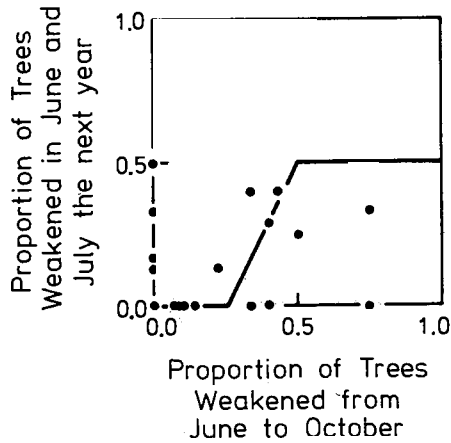
第58図 マツノマダラカミキリの産卵曲線。破線は1979年の実測値（週あたり雌あたりの産卵数）であり、実線はそれを日あたり雌あたりの産卵数に換算し、さらに四捨五入して整数にしたものである。后者のデータをシミュレーション・モデルで用いた。



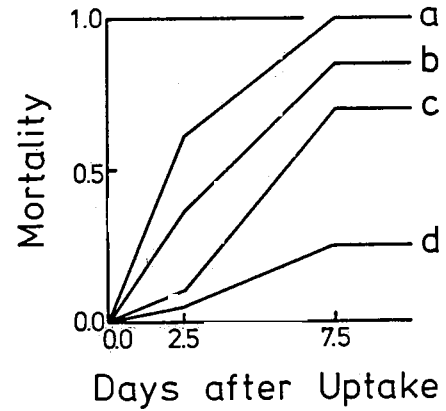
第59図 卵密度と脱出成虫密度の関係。この関係は野外に置かれたアカマツ丸太で得られた。密度は樹皮表面積100cm<sup>2</sup>あたりの個体数で表した。

成虫はそこに停って後食し、マツノザイセンチュウを伝播する。もし、成虫が林外へ飛び出した場合、再び林内に戻らないと仮定した。

性成熟後、成虫は夕方の飛翔で衰弱木に定位する（OKAMOTO、1984）。しかし、成虫の定位の仕方は不明である。そこで、成虫が衰弱木にいる場合移動せず、衰弱木にいない場合、成虫は一定半径内（ここでは8mと仮定）のすべての衰弱木を知覚し、その中からランダムに1本の衰弱木を選んで飛び移ると仮定した。一定範囲内に衰弱木がない場合、成虫は未成熟個体と同じランダム分散を行う。成虫が衰弱木に移動した後、そのマツに1日分の卵数を産み込み、0.5日分のマツノザイセンチュウ数を伝播する。マツが健全な場合、成虫は産卵しない。朝になると成虫は未成熟個体と同じランダム分散を行い、到達したマツに0.5日分のマツノザイセンチュウ数を伝播する。成虫の齢別産卵数は、平年の値である1979年のものを用いた（第58図）。単位時間あたりのマツノザイセンチュウ伝播数は、成虫の初期保持数のクラスと成虫の日齢によって決まる。伝播曲線は第8章



第60図 前年の影響によるマツ衰弱木の発生。25m<sup>2</sup>の枠サイズにおける、1980年6～10月の衰弱木の発生率と1981年6、7月の衰弱木の発生率の関係から推定した。



第61図 予防散布された殺虫剤の効果。散布の0～5日 (a)、5～10日 (b)、10～15日 (c)、15～20日 (d) 後の殺虫剤による成虫の累積死亡率曲線を示す。空散後20日を過ぎると殺虫剤の残効がなくなる。

で得られた結果 (第42図) を用いた。

天敵の存在下において、卵から成虫脱出時までの死亡率に密度効果が存在し、それは第59図の関係 (TOGASHI、1986) で表されると仮定した。

各健全木へのマツノザイセンチュウ累積侵入数が発病の閾値を超えた場合、一定の潜伏期間後に発病して衰弱木になる。感受性のマツの場合、閾値は3,000頭、潜伏期間は20日、発病期間 (衰弱期間) は25日と仮定した。マツが衰弱している間、マツは性成熟した成虫を誘引する。衰弱後マツは枯死する。樹体へのマツノザイセンチュウ累積侵入数が発病の閾値までに達しなかった場合、翌春までに樹体内のマツノザイセンチュウは死滅すると仮定した。

前年の影響 (いわゆる履歴効果) による衰弱木の発生は、無被害時に5×5本のマツが生えていた小区画内で起こると仮定した。その時、1本の健全木が前年の影響によって衰弱する確率は第60図の関係に従う。小区画内の健全木は等確率で衰弱し、それは6～7月の成虫発生期間中にランダムに起こると仮定した。

モデルに組み入れた防除手段とそれぞれにおける仮定は次のとおりである。

材線虫病抵抗性マツの選抜育種：材線虫病に対するマツの抵抗性を、潜伏期間の延長と発病のためのマツノザイセンチュウ数の閾値の増加で表す。

枯死木の伐倒駆除：殺虫剤による枯死木内のマツノマダラカミキリの死亡は、他の要因による死亡と独立に起こる。

殺虫剤の予防散布：成虫の後食予防のために空中散布 (または地上散布) された殺虫剤によって、成虫は第61図の関係に従って死亡すると仮定した (富樫、1980b)。散布回数は1～3回までである。最適散布時期はマツ林に伝播されるマツノザイセンチュウ数を最小にする時期として決定した (富樫、1980b)。

要防除水準を前年の枯死木の割合で指定し、その値を超えれば防除を行うことにした。そして、枯死木の累積割合が80%を超えた場合（マツ林の消失）、成虫が脱出しなくなった場合（防除の成功）、またはマツ林が30年間維持された場合（枯死木の累積割合が80%未満）に計算を中止した。なお、ここで誘引器による成虫の駆除を組み入れなかったのは、衰弱木に対する誘引器の相対的な誘引力、トラップの捕獲効率および誘引器に対する成虫の定位の仕方が不明だったからである。モデルは FORTRAN 77 言語を用いて記述した。

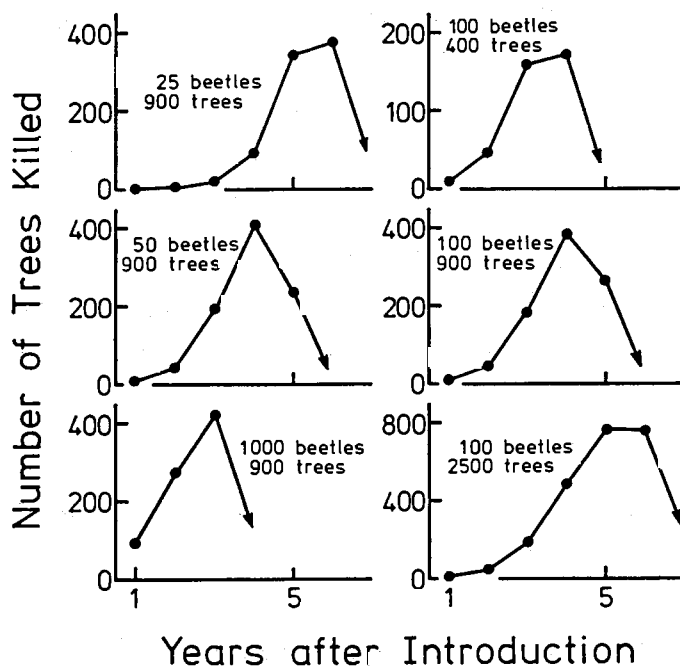
## 2. 被害第1年目の衰弱木、枯死木の時間的空間的分布

無防除の無被害林（健全木30×30本）に被害材を置いた場合の衰弱木、枯死木の発生パターンを模擬計算した。

成虫の分散能力が低い場合（ $\phi_s=0.95894$ 、 $\rho_s=5.90$ 、 $\phi_i=0.98575$ 、 $\rho_i=59.7$ ）100頭の成虫の発生によって9本のマツが枯れた。枠サイズを順次変えた時の衰弱木、枯死木の平均こみあい度と平均値の関係（IWAO、1972）は、7月末で $\alpha'=0.3$ 、 $\beta'=7.4$ 、8月末で $\alpha'=0.2$ 、 $\beta'=6.6$ であり、顕著な集中分布を示した。1,000頭の成虫が発生した場合、枯死木が72本発生した。それらも集中分布を示した。分布集中度は7月末に最大で（ $\beta'=6.7$ ）、8月末（ $\beta'=4.4$ ）に低下し、野外のパターンと一致した。これに対して、成虫の分散能力が高い場合（ $\phi=0.76212$ 、 $\rho=149.2$ ）、100頭の成虫が発生してもマツは枯れなかった。しかし、1,000頭の成虫が発生すると、47本のマツが枯れた。この時の枯死木はほぼランダムに分布した（ $\alpha'=0.06$ 、 $\beta'=1.04$ ）。

## 3. 無防除林における枯死木数の年次的変化

材線虫病の防除を行わない場合、その被害増加に対する成虫の初期発生数と林分サイズの影響を



第62図 マツ林の枯損動態に及ぼす成虫の初期発生数と林分サイズの効果。林分は正方形を想定し、林内の中央に被害材を置いた結果マツが枯死し始めたと仮定した。図中の数字は脱出成虫の初期数と被害前の健全木数を表す。

検討した。

30×30本の健全木から成る林を仮定すると、成虫の初期数が25頭から1,000頭になるに従い、林分の消失までの期間が短くなった（第62図左）。また、成虫の初期数が100頭で一定の場合、林分が大きいほどその消失までの期間は長くなった（第62図右）。しかし、成虫の初期数が40倍（25頭から1,000頭）になっても、林分の大きさが6.25倍（400本から2,500本）になっても林分の消失までの期間は2倍以下の違いしかないことが示された。なお、石川県には無防除林がなかったため、シミュレーション実験の結果を実際のマツ林の場合と比較できなかった。

#### 4. 各種防除手段の効果

この模擬計算では900本（30×30本）の健全木が生えている林を想定し、林内中央部に置かれた被害材から成虫が発生したと仮定した。そして、特にことわらない限り、マツは材線虫病感受性（発病の閾値3,000頭、潜伏期間20日）であり、要防除水準は0.0%であった。

##### (1) 材線虫病抵抗性のマツの導入の効果

材線虫病に対するマツの感受性の相違が衰弱木の発生パターンに及ぼす影響を明らかにするために、発病の閾値を30頭から30,000頭まで、潜伏期間を20日から60日まで変化させた（第49表）。その結果、発病の閾値が等しい場合、潜伏期間が長くなるにつれて衰弱木の発生時期は遅れ、成虫の産卵総数は減少したが、衰弱、枯死木の分布集中度はあまり変化しなかった（第49表）。そして、発病の閾値が3,000頭以下の場合、潜伏期間が長くなるにつれて枯死木数は増加したが、発病の閾値が6,000頭以上の場合、枯死木数はほとんど違わなかった。潜伏期間が等しい場合、発病の閾値が高まるにつれて枯死木の数は減少した。

防除には発病の閾値を高めることが重要である。そこで、潜伏期間を20日に固定し、発病の閾値が30頭、300頭、3,000頭、6,000頭および30,000頭（それぞれ第50表Aの感受性a、b、感受性、抵抗性および抵抗性a）の場合の枯損動態を模擬計算した。その結果、他の防除手段を講じない場合、極めて抵抗性が強くない限りマツ林は消失することが示された（第50表A）。

今後、閾値が6,000頭で、潜伏期間が20日のマツを、抵抗性のマツと呼ぶことにする。

##### (2) 枯死木の伐倒駆除の効果

毎年すべての枯死木を伐倒し、脱出成虫の一定割合を殺虫剤によって駆除すると仮定した。無被害林に100頭または1,000頭の成虫が発生した場合、死亡率が80%以上の伐倒駆除を行うことによって防除は成功した。この場合、成虫の初期発生数が多いと防除成功時までにより多くのマツが枯れた（第50表B）。

##### (3) 殺虫剤の予防散布の効果

防除として殺虫剤の予防散布だけを行うと仮定した。無被害林に100頭の成虫が発生した場合、成虫の脱出消長のピーク時（6月24日）に毎年1回の予防散布を行っても防除は成功しなかった。これに対して、マツノザイセンチュウの伝播のピーク時（最適散布時期、7月4日）に散布を行うと、防除は4年で成功した（第50表D）。しかし、1,000頭の成虫が発生した場合、13年かかって防除は成功したが、累積で22%のマツが枯れた（第50表D）。

無被害林で100頭の成虫が発生した時、2回の予防散布を林野庁長官通達で指定された時期に近い頃（成虫の脱出消長の初日とピーク時、6月14日と6月23日）に行っても、防除は成功しなかった（第50表D）。しかし、最適散布時期（6月24日と7月14日）に散布すると、防除は2年で成功



第 49 表. 衰弱木の時間的空間的発生パターンに及ぼすマツの感受性の効果

閾値 (頭)	潜伏 期間 (日)	調査 項目	6月	7月	8月	9月	10月	枯死 木数	産卵数
30	20	n <sup>a</sup>	0	25	25	6	0	56	8,019
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	0.5	0.1	0.0	0.0		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	6.0	3.6	3.8	3.8		
30	40	n <sup>a</sup>	0	1	52	23	0	76	5,997
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.2	0.2	0.2		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	5.2	4.0	4.0		
30	60	n <sup>a</sup>	0	0	7	63	18	88	3,182
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.2	0.1	0.1		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	4.4	4.2	3.8		
300	20	n <sup>a</sup>	0	8	17	1	0	26	7,604
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	0.4	0.4	0.4	0.4		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	6.6	5.9	5.5	5.5		
300	40	n <sup>a</sup>	0	0	30	11	1	42	4,877
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.5	0.5	0.5		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	7.4	5.8	5.5		
300	60	n <sup>a</sup>	0	0	1	36	12	49	2,304
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	0.6	0.5		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	7.0	5.4		
1,500	20	n <sup>a</sup>	0	3	12	0	0	15	6,685
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	0.3	0.2	0.2	0.2		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	7.4	6.5	6.5	6.5		
1,500	40	n <sup>a</sup>	0	0	12	12	0	24	4,344
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.3	0.6	0.6		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	7.5	7.8	7.8		
1,500	60	n <sup>a</sup>	0	0	1	19	5	25	1,535
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	0.4	0.5		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	8.2	8.4		
3,000	20	n <sup>a</sup>	0	3	6	0	0	9	5,959
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	0.3	0.2	0.2	0.2		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	7.4	6.6	6.6	6.6		
3,000	40	n <sup>a</sup>	0	0	5	8	0	13	3,724
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.1	0.4	0.4		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	4.5	7.6	7.6		
3,000	60	n <sup>a</sup>	0	0	0	13	2	15	1,300
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	0.4	0.5		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	7.6	7.9		
6,000	20	n <sup>a</sup>	0	1	4	1	0	6	5,077
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	0.0	0.3	0.3	0.3		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	0.0	7.9	7.9	7.9		
6,000	40	n <sup>a</sup>	0	0	2	3	0	5	2,716
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	0.3	0.2	0.2		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	6.4	7.7	7.7		
6,000	60	n <sup>a</sup>	0	0	0	3	2	5	866
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	0.1	0.2		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	6.2	7.7		
30,000	20	n <sup>a</sup>	0	0	1	0	0	1	2,447
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		
30,000	40	n <sup>a</sup>	0	0	1	0	0	1	1,286
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		
30,000	60	n <sup>a</sup>	0	0	0	1	0	1	457
		$\alpha$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		
		$\beta$ <sup>b</sup>	—	—	—	—	—		

<sup>a</sup> : n は各月に発生した新しい衰弱木の数。  
<sup>b</sup> :  $\alpha$ 、 $\beta$  は各月末までの衰弱木と枯死木の分布のパラメータ (IWAO, 1972)。  
 このシミュレーション実験では、30×30本の健全木の林を想定し、林内中央部に  
 100頭の成虫が発生したと仮定した。

し、0.3%のマツが枯れた。そして、1,000頭の成虫が発生しても、防除は3年で成功した（第50表D）。当然の事ながら、1,000頭の成虫が発生しても、最適散布時期（6月19日、6月29日と7月14日）に殺虫剤を3回散布すると、防除は2年で成功した（第50表D）。

#### (4) 材線虫病抵抗性マツの導入と枯死木の伐倒駆除の効果

マツが材線虫病に抵抗性である場合に、枯死木の伐倒駆除を行うと仮定する。成虫の初期発生数が100頭であっても、1,000頭であっても、60%以上の死亡率を与える伐倒駆除を行うことによって防除は成功した（第50表C）。死亡率が同じ場合、成虫の初期発生数が多いと防除に要する期間は長く、防除成功時の枯死木の割合は大きくなった。

#### (5) 材線虫病抵抗性マツの導入と殺虫剤の予防散布の効果

マツが材線虫病に抵抗性である場合、1,000頭の成虫が発生しても最適散布時期（7月4日）に殺虫剤を1回散布すると、防除は3年で成功した（第50表E）。また、通達で指定された時期に近い頃（6月14日と6月23日）に2回散布しても、防除は3年で成功した（第50表E）。この結果は、感受性のマツの場合と著しく異なった。

#### (6) 枯死木の伐倒駆除と殺虫剤の予防散布の効果

殺虫剤の予防散布を1回と枯死木の伐倒駆除を行うと仮定する。マツ林で100頭の成虫が発生した場合、成虫の脱出消長のピーク時（6月24日）の予防散布と死亡率が60%以上の伐倒駆除によって、防除は4年以内に成功した（第50表F）。これに対して、最適散布時期（7月4日）に予防散布を行うと、伐倒駆除による死亡率が20%でも4年以内に防除が成功した（第50表G）。同じ防除を行っても、1,000頭の成虫が発生すると、防除が成功するまでの期間は長くなった（第50表H）。

殺虫剤の予防散布を2回と枯死木の伐倒駆除を行うと仮定する。林内で100頭の成虫が発生した場合、通達で定められた頃（6月14日と6月23日）の予防散布と死亡率が60%以上の伐倒駆除によって、防除は4年以内に成功した（第50表L）。ところが、適期（6月24日と7月14日）に予防散布を行うと、枯死木の伐倒駆除は不要であった（第50表D、N）。このことは、1,000頭の成虫が発生した場合も同様であった（第50表D、O）。

#### (7) 材線虫病抵抗性マツの導入、枯死木の伐倒駆除および殺虫剤の予防散布の効果

マツが材線虫病に抵抗性である場合、殺虫剤の予防散布と枯死木の伐倒駆除を行うと仮定する。マツ林で100頭の成虫が発生した場合、成虫の脱出消長のピーク時（6月24日）の予防散布と死亡率が30%以上の伐倒駆除によって、防除は4年以内に成功した（第50表I）。しかし、殺虫剤を最適時期（7月4日）に散布すると、枯死木の伐倒駆除は不要になった（第50表E、J）。林内で1,000頭の成虫が発生しても、防除効果に違いはなかった（第50表E、K）。

通達で定められた頃（6月14日と6月23日）に殺虫剤の予防散布を行うと、伐倒駆除による死亡率を60%以上にしなければ、3年以内に防除は成功しなかった（第50表P）。しかし、最適時期（6月24日と7月14日）に予防散布を行うと、枯死木の伐倒駆除をしなくても2年以内に防除は成功した（第50表E、R）。たとえば1,000頭の成虫が発生しても、結果はほぼ同じであった（第50表E、S）。

#### (8) 防除効果に及ぼす要防除水準の影響

防除効果に及ぼす要防除水準の影響を明らかにするために、防除手段を殺虫剤の2回予防散布（6月14日と6月23日）と枯死木の伐倒駆除に固定して、要防除水準（前年の枯死木の割合によっ

第50表. マツノマダラカミキリーマツノザイセンチュウの各種防除手段とその組合せの効果

防除手段のグループ	要防除水 (%)	成虫の初産数	殺虫剤の散布回数	殺虫剤の散布日	枯死木の伐除率 (%)	マツの性質 (選抜種)	防除の結果	防除に必要な期間 (年)	防除時での木枯れ割合 (%)	80%以上のマツが枯れるまでの期間 (年)	防除中止期間 (年)
A	—	100	0		0	感受性 a	失敗	—	—	3	—
	—	1,000	0		0	感受性 a	失敗	—	—	2	—
	—	100	0		0	感受性 b	失敗	—	—	3	—
	—	1,000	0		0	感受性 b	失敗	—	—	3	—
	—	100	0		0	感受性	失敗	—	—	5	—
	—	1,000	0		0	感受性	失敗	—	—	3	—
	—	100	0		0	抵抗性	失敗	—	—	7	—
	—	1,000	0		0	抵抗性	失敗	—	—	4	—
	—	100	0		0	抵抗性 a	成功	2	0.1	—	—
—	1,000	0		0	抵抗性 a	成功	2	1.1	—	—	
B	0.0	100	0		50	感受性	失敗	—	—	6	0
	0.0	100	0		70	感受性	失敗	—	—	9	0
	0.0	100	0		80	感受性	成功	20	43.7	—	0
	0.0	100	0		90	感受性	成功	5	1.9	—	0
	0.0	1,000	0		50	感受性	失敗	—	—	4	0
	0.0	1,000	0		60	感受性	失敗	—	—	4	0
	0.0	1,000	0		70	感受性	失敗	—	—	5	0
	0.0	1,000	0		80	感受性	失敗	—	—	5	0
	0.0	1,000	0		90	感受性	成功	14	74.9	—	0
C	0.0	100	0		50	抵抗性	失敗	—	—	16	0
	0.0	100	0		60	抵抗性	成功	12	4.4	—	0
	0.0	100	0		70	抵抗性	成功	3	0.8	—	0
	0.0	100	0		80	抵抗性	成功	3	1.1	—	0
	0.0	1,000	0		50	抵抗性	失敗	—	—	8	0
	0.0	1,000	0		60	抵抗性	成功	15	31.7	—	0
	0.0	1,000	0		70	抵抗性	成功	9	15.8	—	0
	0.0	1,000	0		80	抵抗性	成功	7	12.1	—	0
	0.0	1,000	0		90	抵抗性	成功	5	11.0	—	0
D	0.0	100	1	6/24	0	感受性	失敗	—	—	7	0
	0.0	100	1	7/04	0	感受性	成功	4	0.1	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	0	感受性	成功	13	22.4	—	0
	0.0	100	2	6/14、6/23	0	感受性	失敗	—	—	7	0
	0.5	100	2	6/14、6/23	0	感受性	失敗	—	—	13	0
	0.0	100	2	6/24、7/14	0	感受性	成功	2	0.3	—	0
	0.0	1,000	2	6/24、7/14	0	感受性	成功	3	1.2	—	0
	0.0	1,000	3	6/19、6/29、7/14	0	感受性	成功	2	0.7	—	0
	E	0.0	100	1	6/24	0	抵抗性	成功	8	2.3	—
0.0		100	1	7/04	0	抵抗性	成功	3	0.2	—	0
0.0		1,000	1	7/04	0	抵抗性	成功	3	1.1	—	0
0.0		100	2	6/14、6/23	0	抵抗性	成功	3	0.8	—	0
0.5		100	2	6/14、6/23	0	抵抗性	成功	29	69.4	—	1
0.0		100	2	6/24、7/14	0	抵抗性	成功	1	0.1	—	0
0.0		1,000	2	6/24、7/14	0	抵抗性	成功	2	0.3	—	0
0.0		1,000	3	6/19、6/29、7/14	0	抵抗性	成功	2	0.2	—	0
F		0.0	100	1	6/24	20	感受性	失敗	—	—	9
	0.0	100	1	6/24	30	感受性	失敗	—	—	12	0
	0.0	100	1	6/24	40	感受性	成功	9	4.0	—	0
	0.0	100	1	6/24	50	感受性	成功	9	6.8	—	0
	0.0	100	1	6/24	60	感受性	成功	3	1.3	—	0
	0.0	100	1	6/24	70	感受性	成功	4	1.8	—	0
	0.0	100	1	6/24	80	感受性	成功	4	1.4	—	0
	0.0	100	1	6/24	90	感受性	成功	3	1.2	—	0
	G	0.0	100	1	7/04	10	感受性	成功	7	2.1	—
0.0		100	1	7/04	20	感受性	成功	4	1.2	—	0
0.0		100	1	7/04	30	感受性	成功	4	0.9	—	0
0.0		100	1	7/04	50	感受性	成功	3	0.9	—	0
0.0		100	1	7/04	70	感受性	成功	3	0.4	—	0
H		0.0	1,000	1	7/04	10	感受性	成功	7	7.8	—
	0.0	1,000	1	7/04	20	感受性	成功	5	4.6	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	30	感受性	成功	6	7.6	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	40	感受性	成功	5	6.1	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	50	感受性	成功	4	4.3	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	60	感受性	成功	6	4.2	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	70	感受性	成功	4	4.6	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	80	感受性	成功	4	3.2	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	90	感受性	成功	3	2.7	—	0

(続く)

第50表. マツノマダラカミキリーマツノザイセンチュウの各種防除手段とその組合せの効果(続き)

防除手段のグループ	要防除水の除率(%)	成虫の発生数	殺虫剤の散布回数	殺虫剤の散布日	枯死木の割合(%)	マツの性質(選抜育種)	防除の結果	防に要する期間(年)	防除時の死亡率(%)	80%以上のマツが枯れるまでの期間(年)	防除中止期間(年)
I	0.0	100	1	6/24	20	抵抗性	成功	9	2.3	—	0
	0.0	100	1	6/24	30	"	成功	2	0.3	—	0
	0.0	100	1	6/24	40	"	成功	4	0.9	—	0
	0.0	100	1	6/24	50	"	成功	2	0.3	—	0
	0.0	100	1	6/24	60	"	成功	4	0.7	—	0
	0.0	100	1	6/24	70	"	成功	3	0.4	—	0
	0.0	100	1	6/24	80	"	成功	3	0.4	—	0
J	0.0	100	1	7/04	10	抵抗性	成功	2	0.1	—	0
	0.0	100	1	7/04	20	"	成功	2	0.1	—	0
	0.0	100	1	7/04	30	"	成功	2	0.1	—	0
	0.0	100	1	7/04	50	"	成功	2	0.1	—	0
K	0.0	1,000	1	7/04	10	抵抗性	成功	3	1.0	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	20	"	成功	3	1.0	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	30	"	成功	3	0.9	—	0
	0.0	1,000	1	7/04	50	"	成功	2	0.8	—	0
L	0.0	100	2	6/14, 6/23	40	感受性	失敗	—	—	25	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	50	"	成功	23	10.4	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	60	"	成功	4	1.7	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	70	"	成功	5	1.6	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	80	"	成功	3	0.8	—	0
M	0.5	100	2	6/14, 6/23	40	感受性	失敗	—	—	10	0
	0.5	100	2	6/14, 6/23	50	"	成功	23	14.4	—	4
	0.5	100	2	6/14, 6/23	60	"	成功	11	17.4	—	0
	0.5	100	2	6/14, 6/23	70	"	成功	7	9.9	—	0
	0.5	100	2	6/14, 6/23	80	"	成功	25	21.4	—	9
N	0.0	100	2	6/24, 7/14	10	感受性	成功	2	0.2	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	20	"	成功	2	0.2	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	30	"	成功	2	0.3	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	50	"	成功	2	0.2	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	70	"	成功	2	0.2	—	0
O	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	10	感受性	成功	4	1.8	—	0
	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	20	"	成功	3	1.2	—	0
	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	30	"	成功	3	1.2	—	0
P	0.0	100	2	6/14, 6/23	10	抵抗性	成功	9	2.9	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	20	"	成功	5	1.2	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	30	"	成功	5	0.9	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	40	"	成功	3	0.7	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	50	"	成功	5	1.6	—	0
	0.0	100	2	6/14, 6/23	60	"	成功	3	0.6	—	0
Q	0.5	100	2	6/14, 6/23	10	抵抗性	成功	27	17.8	—	4
	0.5	100	2	6/14, 6/23	20	"	成功	30<	(18.6)	—	4
	0.5	100	2	6/14, 6/23	30	"	成功	19	12.1	—	2
	0.5	100	2	6/14, 6/23	40	"	成功	27	12.1	—	12
	0.5	100	2	6/14, 6/23	50	"	成功	3	1.1	—	0
	0.5	100	2	6/14, 6/23	60	"	成功	23	10.8	—	11
R	0.0	100	2	6/24, 7/14	10	抵抗性	成功	1	0.1	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	20	"	成功	1	0.1	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	30	"	成功	1	0.1	—	0
	0.0	100	2	6/24, 7/14	50	"	成功	1	0.1	—	0
S	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	10	抵抗性	成功	3	0.4	—	0
	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	20	"	成功	2	0.3	—	0
	0.0	1,000	2	6/24, 7/14	30	"	成功	2	0.3	—	0

マツ林には30×30本の健全木が生えており、その林内中央部に持ち込まれた被害材から100または1,000頭の成虫が脱出したと仮定した。要防除水準は前年の枯死木の割合で決めた。防除手段のグループAのマツの性質(選抜育種)の感受性a、bおよび抵抗性aは、それぞれ発病の閾値がマツノザイセンチュウ30頭、300頭、30,000頭で、潜伏期間が20日のマツを表す。また、その他の感受性および抵抗性は、それぞれ発病の閾値がマツノザイセンチュウ3,000頭、6,000頭で、潜伏期間が20日のマツを表す。  
 \* : 被害発生30年後の枯死木の割合。

て表される)を0.0% (第58表L、P)から0.5% (第50表M、Q)に変えた。その結果、抵抗性のマツで顕著なように、要防除水準が0.5の場合、前年の枯死木の割合が時々要防除水準より低くなり、当年の防除を中止することになった。そのため、0.0の要防除水準の場合より防除期間が長びき、防除が成功しても多くのマツが枯れた。

#### 5. マツノマダラカミキリーマツノザイセンチュウの防除に関する提言

シミュレーション実験によると、マツノマダラカミキリー成虫の発生数が少ない場合、殺虫剤の1回予防散布と死亡率が20%以上の伐倒駆除によって4年以内に防除が成功した(第50表G)。このことは殺虫剤の散布回数を減らせる可能性を示唆する。また、殺虫剤の予防散布の時期さえ適切ならば、2回散布だけでも2年で防除が成功した(第50表D)。ところが、通達で定められた時期(成虫の脱出消長の初期とピーク時)に予防散布をしても顕著な効果は得られず、今後その時期の検討が必要であると考えられた。このように、殺虫剤の予防散布の効果は散布時期に依存して大きく異なる。そして、不幸なことに散布時期は梅雨の頃であり、降雨のために予定通りの散布は難しい。また、たとえ殺虫剤を散布しても、降雨によって殺虫剤は流亡し、期待通りの効果は得られないかもしれない。これらの点が防除を困難にしていると考えられる。

枯死木の伐倒駆除だけによって防除を成功させるためには、80%以上の死亡率が必要であった(第50表B)。実際の伐倒駆除におけるマツノマダラカミキリーの死亡率は、枯死木の発見確率と伐倒された枯死木内の本種の死亡率に関係する。前者についてはヘリコプターを使った空中サーベイと林内からの地上サーベイで枯死木の発見数に3倍の差があったという(枯死木の発見確率約0.3)。曇天の場合やマツ林がうっ閉している場合、葉の変色したマツを見つけにくいことを著者も経験している。枯死木内の本種の死亡率は処理方法(焼却、チップ化、埋土、薬剤処理)や薬剤処理の場合、その種類、濃度および散布の仕方だけでなく、散布時期にも左右される。また、枯死木の伐倒時、枝条は折れて飛び散る。このような枝条からも成虫は脱出するが、林内ですべての枝条を集めることは難しい。このため、伐倒駆除によって80%以上の死亡率を得ることは極めて困難だと考えられる。このことは、現在の管理体制の下で防除を成功させるためには、殺虫剤の予防散布が今のところ不可欠であることを意味している。とはいえ、殺虫剤の予防散布(特に空中散布)に伴う様々な副作用が問題とされている今日、散布回数を減らしたり、散布様式を一様散布からスポット散布に変えるなどして、それらの副作用を極力抑制する努力もまた不可欠であろう。

要防除水準を0.0%から0.5%に変えることは、防除効果の調査、つまり枯死木のサーベイが不十分なことに対応している。サーベイの不正確さは無駄な防除に通じるだけでなく、有効な防除手段を用いてもマツノマダラカミキリーの絶滅前に防除を中止するため、マツ林は長く加害され、枯死木数が増加する(第50表M、Q)。枯死木のサーベイの方法は重要な問題である。

現在の日本のアカマツとクロマツの大部分は、材線虫病に対して抵抗性がない。そこで、材線虫病抵抗性のマツが選抜育種されている。シミュレーション実験によれば、抵抗性が不完全であっても、そのようなマツの導入によって他の防除手段の効果が著しく高まり、防除が容易になった。つまり、材線虫病の発病のための閾値を高めることが、本病の防除にとって現在最も重要であると考えられた。