

松くい虫の防除に関する総合研究

岡本安順

Comprehensive Studies on Prevention of Pine Wilt Disease

Yasuyori OKAMOTO

岡本安順：松くい虫の防除に関する総合研究 岡山県林試研報15：～，1999 1993～1997年、松くい虫の減農薬防除法を確立するため、天敵を利用した生物的防除法や被害材の乾燥促進によるマツノザイセンチュウの防除を目的とした伐倒施業の改善方法、軟X線を利用したマツノマダラカミキリの不妊化方法について検討するとともに、誘引剤を利用した捕獲によるマツノマダラカミキリの生息密度・生息実態や被害材からの脱出時期など効率的な防除のための基礎的調査を行った。マツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチの放虫試験の結果、野外網室内では85%の高い寄生効果が認められたが、林内枯損立木への放虫ではその効果は低かった。ポーベリア菌培養不織布設置試験の結果、枯損立木への設置ではマツノマダラカミキリの罹病率は低かったが、伐倒木への設置では罹病率は最高70%の高い防除効果が認められた。松くい虫被害木を50cmに玉切りし背割り等を入れシート被覆すると材の絶乾含水率は22%に減少し、材から羽化した全てのマツノマダラカミキリは線虫を保持していなかったが、この効果は調査年の降水量に大きく影響された。マツノマダラカミキリ雄蛹にX線量単位935 R (93500SV) / minを30分照射し、通常の雌と交尾させ産卵させたところ次世代は孵化しなかった。マツノマダラカミキリの被害材からの脱出時期と誘引剤による捕獲時期は調査年の気温により大きく変動した。

キーワード：マツ材線虫病、マツノマダラカミキリ、生物的防除法、減農薬防除法

I はじめに

松くい虫（マツ材線虫病）の防除は、これまで即効性や確実性の面から農薬使用を中心に行われてきたが、近年、環境への配慮が一層強く求められ、天敵を利用した生物的防除法等との組み合わせによる減農薬防除法の開発が望まれている。一方中国では、1970年代から捕食寄生性アリガタバチの一種、*Scleroderma guani* を利用した松くい虫の防除が試みられ、防除効果が実証されている（遠田 1992）。日本にも同属のクロアリガタバチ、*Scleroderma nipponica* Yuasa（以下ハチ）が本州・九州に分布しており、このハチの松くい虫防除手段としての有効性を検証するためにハチ放虫実験を行いマツノマダラカミキリ、*Monochamus alternatus* Hope（以下マダラ）に対する寄生効果を調査した。その他、マダラの天敵微生物として知られる *Beauveria bassiana*（以下ポーベリア菌）を利用した生物的防除法や被害材の乾燥促進によるマツノザイセンチュウ、*Bursaphelenchus xylophilus* Nickle（以下線虫）のマダラへの乗り移り阻止を目的とした伐倒施業方法、軟X線照射によるマダラの不妊化方法、さらに、マダラの発生時期や誘引剤による捕獲時期等を調査・検討したので報告する。

なお、本試験は単県試験研究「松くい虫の防除に関する総合研究」（1993～1997）において実施し、実験はすべて岡山県勝田郡勝央町の岡山県林業試験場内で行った。また、本成果の一部は第47・49回日本林学会関西支部大会（岡本 1997, 1999）において発表した。報告に先立ち、ハチの提供と多くのご教示を頂いた前森林総合研究所昆虫

生態研究室長遠田暢男氏に、また、1993年の試験データを引用させていただいた前岡山県林業試験場専門研究員影山光男氏（現岡山県真庭振興局）に厚くお礼を申し上げる。

II 天敵生物による防除試験

1. クロアリガタバチの放虫試験

(1) 材料と方法

ア) 野外網室内ハチ放虫実験

1994年6月17日、アカマツ立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした生丸太10本（表面積計3.55m²）を0.75×0.75×1.75m野外網室①（金網：1.5mmメッシュ）に立て掛け、マダラ10ペアを放虫して産卵させた。放虫したマダラは、管瓶内で幼虫から羽化させ、ポリカップで20日間個体飼育した雌雄を交尾させた後用いた。7月20日、丸太5本（1.67m²）を別の野外網室②（周囲とドア部分を硬質ゴムで加工し隙間をなくした網室、金網：0.5mmメッシュ）に入れかえ、ハチ雌成虫を335頭（200頭/m²）放虫した。放虫方法は、ハチを増殖させた管瓶（18×18×70mm）内の濾紙をハチごと取り出し、丸太の樹皮の間に差し込んだ。残りの丸太5本をハチを放虫しない試験区とし、これを対照区とした。8月22日と10月3日に丸太を剥皮・割材してハチの寄生状況を調査した。

イ) 林内ハチ放虫実験

① ハチ少量放虫試験

1995年8月28日、アカマツ林内で松くい虫被害により枯損したアカマツ立木2本（表面積3.77、4.71m²）に対して

ハチ雌成虫をそれぞれ760頭と940頭(200頭/m²)放虫した。放虫したハチは、スギカミキリ幼虫を寄主とし羽化後間もないものを用い、放虫方法はアカマツ主幹部の胸高部位にむしピンを打ち、ハチを増殖させた管瓶の蓋を取ってピンに差し込み放虫させた(放虫方法①)。ハチ放虫木から約50m離れたアカマツ枯損木1本(4.24m²)をハチを放虫しない試験区とし、これを対照区とした。9月26日アカマツ立木を伐倒・剥皮・割材してハチの寄生状況を調査した。

② ハチ大量放虫試験

1997年9月2日、アカマツ林内で松くい虫被害により枯損したアカマツ立木3本(表面積計7.34m²)に対して主幹部の1.2m高に羽化後間もないハチ雌成虫を放虫方法①により大量(800頭/m²)放虫した。ハチ放虫木から約50m離れたアカマツ枯損木1本(0.94m²)をハチを放虫しない試験区としこれを対照区とした。10月下旬に伐倒・剥皮・割材してハチの寄生状況を調査した。

(2) 結果と考察

ア) 野外網室内ハチ放虫実験

表-1にアカマツ丸太の割材調査結果を示した。

ハチ放虫区のすべての供試木で、ハチ次世代の発育は確認できなかったが、全体では、ハチ放虫区のマダラ不在孔率(不在孔数/穿入孔数)は85%で、対照区の不在此率15%に比べ極端に高かった。調査日別には、マダラ不在孔率に顕著な差は認められなかった。8月調査時には、すでに1頭を除くすべてのマダラ幼虫が蛹室を形成していたため、ハチ放虫区と対照区との樹皮下幼虫数を比較することはできなかった。実験に供試した網室は、構造上他の天敵昆虫は侵入できないこと、天敵微生物の影響は、1m離れた対照区の供試木にも認められなかったこと、マダラ幼虫間の餌場をめぐる密度依存的な死亡が多数生ずる密度とはいいい難いこと(森本ら1977)などから、不在孔(空室の蛹室)は、ハチの寄生によると考えられた。また、今回はハチ寄生後にマダラ幼虫が腐敗したため、ハチ次世代の発

表-1 網室内でのマツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチの寄生

区分	調査日 月/日	供試木 No.	マツノマダラカミキリ			不在孔率 (b/a)%
			穿入孔数(a)	生存幼虫数	不在孔数(b)	
ハチ 放虫 区	8/22	1	8	1	7	88
	"	2	8	1	7	
	小計		16	2	14	
	10/3	3	6	1	5	
	"	4	5	1	4	
	"	5	0	0	0	
小計		11	2	9	82	
合計			27	4	23	85
対 照 区	8/22	6	8	7	1	13
	"	7	0	0	0	
	小計		8	7	1	
	10/3	8	4	4	0	
	"	9	1	0	1	
	"	10	0	0	0	
小計		5	4	1	20	
合計			13	11	2	15

育が確認できなかった。滅菌した管瓶内での観察によると、マダラ幼虫を寄主とした場合、老熟幼虫(黄色化した成熟幼虫)でハチ次世代の羽化率は80%以上と最も高く、寄主が若齢なほどハチ生育途中に寄主の腐敗等が生じやすく、ハチ羽化率が50~0%に低下する傾向が認められ、また、温度別の寄生調査では、ハチ次世代の発育適温は25~26℃で、温度が高くなるほどハチ寄生後の寄主の腐敗が加速される傾向が認められている(岡本 未発表)。岡山県気象月報によると、実験期間中の7月下旬から8月中旬の津山市の平均気温は、平年値より2~3℃高い27.4~29.4℃で、最高気温が35℃を超えた日が17日間観測されていた(岡山県気象台 1994)。これらのことから、ハチ放虫時には、産卵後の日数からマダラ幼虫は3~4齢に成長し材内に穿孔を始めていたが、ハチの寄生を受け、その後の高温により腐敗したものと推測された。8月時と10月時の不在孔率に大きな差が認められなかったのは、ハチ次世代が羽化しなかったことと、放虫したハチが寿命を終え死亡したためと考えられた。

イ) 林内ハチ放虫実験

① ハチ少量放虫試験

表-2にアカマツ立木の割材調査結果を示した。

表-2 林内でのマツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチの寄生

区分	供試木 No.	マツノマダラカミキリ			不在孔率 (b/a)%
		穿入孔数(a)	生存幼虫数	不在孔数(b)	
放虫区	1	58	37	21	36
	2	7	5	2	29
	小計	65	42	23	35
対照区	3	11	10	1	9

供試木No.1(3.77m²)では、ハチ次世代の発育は確認されなかったが、マダラ穿入孔数58個に対して不在孔数は21個であり、オオコクヌスト、*Trogossita japonica* Reitter幼虫1頭を樹皮下で確認した。また、マツ樹皮下でしばしばハチ成虫を確認したが、その数はさほど多くなく大半は分散または死亡したものと考えられた。寄主であるマダラ幼虫が比較的多数生息していたにもかかわらずハチが分散したとするならば、自然界での多様な寄主選択の可能性が考えられた。供試木No.2(4.71m²)では、穿入孔数7個に対して不在孔数は2個であったが、マダラ樹皮下幼虫と思われる1頭にハチの寄生が認められ、ハチ次世代は蛹化していた。その他、ゾウムシ類と思われる幼虫2頭にハチの寄生が認められた。マツ樹皮下では、頻繁にハチ成虫が見られ、また、樹皮下ではオオコクヌスト幼虫1頭を確認した。全体では、ハチ放虫区のマダラ不在孔率は35%で、対照区の9%に比べ高かった。しかし、少数ではあるが天敵昆虫のオオコクヌストが確認されたためその影響も考慮すると、ハチの寄生効果は十分ではなかった。

② ハチ大量放虫試験

表-3に調査結果を示した。ハチ放虫区全体で、放した

ハチ15頭および寄生中の次世代がマダラ幼虫2頭で確認されたが、寄生率は1%と低率であった。いずれもマダラ樹皮下幼虫への寄生で、供試木No.1の地上4m、No.2の地上6mの部位で確認され、次世代ハチは蛹化していた。ハチ放虫区のマダラの空室の蛹室率は38-62%(全体で50%)で、対照区の9%と比べいずれも高かった。ハチ放虫区のマダラ生存幼虫密度は24頭/m²と多く、マダラ幼虫間の餌場をめぐる密度依存的な死亡が生ずる密度(森本ら 1977)であったが、対照区ではこれを上まわる45頭/m²のマダラ幼虫が生存していたので、放虫区で空室率が高かったのは密度依存的な死亡が原因とは考えられない。オオコクヌスト幼虫を供試木No.1で3頭、No.3で1頭、地上2mまでの厚皮部樹皮下で確認したため、その影響を考慮する必要があった。しかし、空室の蛹室は樹幹全体に分布し(図

1)、放虫したハチは、No.1で地上7m、No.2と3では地上6mまで少数ながら確認したことから、空室の蛹室の多くはハチの寄生後にマダラ幼虫が腐敗して生じたものと推察された。岡本(1997)は今回よりも低密度の放虫を行い、空室率が25%であったとしている。今回はその4倍の密度で放したため空室率が50%と高くなったと考えられる。しかし、マダラ幼虫が平均24頭/m²も生存していたことから、ハチの寄生による密度抑制効果は十分ではなかった。またこの実験から、ハチは放虫後2か月間は生存し、寄主探索範囲は放虫部位から5~6m上部におよぶことが確認された。

今後もハチ放虫時期・放虫頭数・放虫方法をかえた様々な調査を行い、マダラ防除のための最も有効なハチの利用方法を解明する必要がある。

表-3 野外枯損木内のマツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチ大量放虫の効果

クロアリガタバチ	供試木 No.	樹高 (m)	表面積 (m ²) a	マツノマダラカミキリ数 ^b				空室の蛹室率 (%) d/(c+d)
				樹皮下幼虫数 ^c b	材内幼虫数 c	不在孔数 d	幼虫数/m ² (b+c)/a	
放 虫 ^a	1	10	2.67	20(1)	24	39	16	62
	2	7	3.40	46(1)	58	35	31	38
	3	6	1.27	3	23	32	20	58
合計			7.34	69(2)	105	106	24	50
非放虫	4	5	0.94	10	32	3	45	9

^a 放虫日：1997年9月2日。放虫密度：材表面積1m²あたり800頭。

^b 割材日：1997年10月下旬。

^c カッコ内はクロアリガタバチに寄生された数。

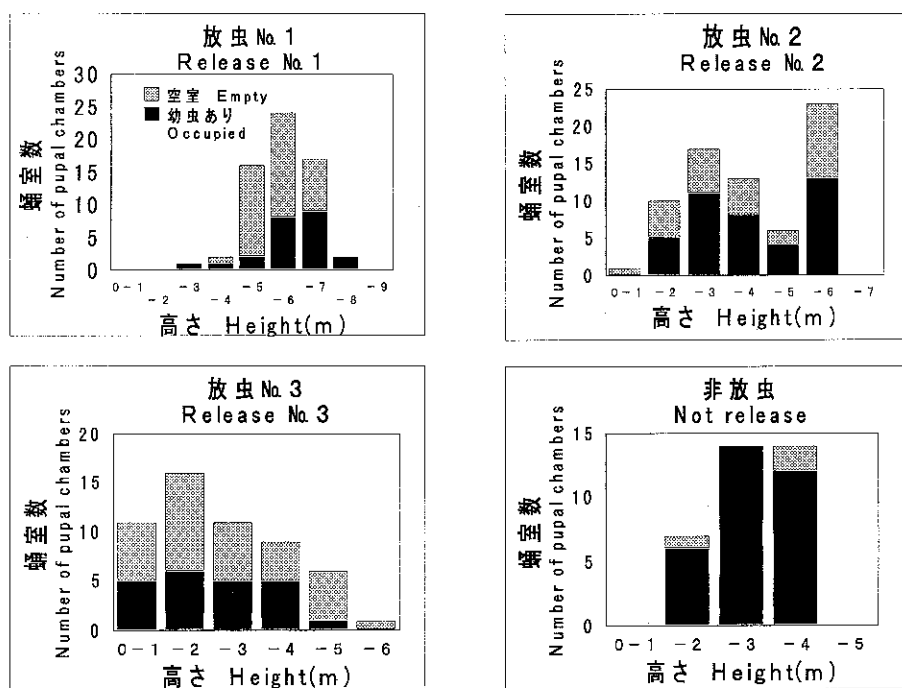


図-1 クロアリガタバチ大量放虫試験におけるマツノマダラカミキリ蛹室の高さ別分布

各木ともクロアリガタバチを1.2m高に放虫した。

放虫木No.1の0~2mでオオコクヌスト幼虫を3頭、放虫木No.3の0~1mで1頭採集した。

2. ボーベリア菌による防除試験

(1) 材料と方法

ア) ボーベリア菌付着キイロコキクイムシ放虫試験

① 野外ナイロンゴース (袋) 内放虫試験

1994年7月22日、アカマツ生立木を伐倒し、長さ50cmに玉切りした生丸太18本 (表面積計1.43m²) をナイロンゴース3袋に各6本入れて林内に立て掛け、7月26日、マダラ3ペアを各袋に放虫して産卵させた。放虫したマダラは、管瓶内で幼虫から羽化させ、ポリカップで20日間個別飼育した雌雄を交尾させた後用いた。7月29日、ボーベリア菌の分生胞子を付着 (0.01g/1000頭) させたキイロコキクイムシ、*Cryphalus fulvus* Nijima (以下キイロコ) を丸太の表面積1m²あたり5000頭と1000頭をそれぞれの袋に放虫した。放虫したキイロコは、アカマツ餌木で増殖させた羽化後2日以内の成虫を使用した。試験に供試したボーベリア菌は、森林総合研究所から分譲された菌株 (F 263) の分生胞子を4℃で保存していたものである。キイロコへのボーベリア菌付着方法は、ポリカップ内に0.01gと0.05gの菌とそれぞれ1000頭と5000頭のキイロコを入れ、軽く振って付着させた。残りの1袋 (丸太6本) をキイロコを放虫しない試験区とし、これを対照区とした。8月31日と10月4日、翌年5月24日に丸太を剥皮・割材してマダラの罹病状況を調査した。

② ボーベリア菌自動付与装置による放虫試験

1995年7月21日、アカマツ立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした生丸太30本 (表面積計7.72m²) を野外網室①に立て掛け、7月25日マダラ30ペアを放虫して産卵させた。8月3日、この丸太を松林内に5m間隔で東西南北方向に計24本立て掛け、その中心に自作の「林振式」ボーベリア菌自動付与装置 (野淵 1993) を置き、キイロコを約50,000頭放虫した。残りの丸太6本をキイロコを放虫しない対照区とし、放虫区から約50m離れた林内に立て掛けた。9月25日と翌年5月10日、丸太を剥皮・割材してマダラの罹病状況を調査した。調査時のマダラ生存幼虫は、常温の室内においてろ紙を半周敷いた管瓶 (18×18×70mm) 内で1か月間個別飼育して発病状況を調査した。

イ) ボーベリア菌付着ハチ放虫実験

① 管瓶内寄生実験

1995年4月4日、松くい虫被害木を割材してマダラ老熟幼虫を30頭採取し、常温室内の管瓶内で個別飼育した。4月13日、ボーベリア菌を付着させた羽化後間もないハチ雌成虫を15頭のマダラ幼虫に各2頭放虫し、28℃の恒温器で飼育してハチの寄生状況、ボーベリア菌による罹病状況を調査した。実験に供試したボーベリア菌は、森林総合研究所から分譲された菌株 (F 263) の分生胞子を4℃で保存していたものである。ハチへのボーベリア菌付着方法は、ポリカップ内に0.03gの菌と1000頭のハチを入れ、軽く振って付着させた。残りのマダラ幼虫15頭にはボーベリア菌を付着させないハチを各2頭放虫して対照区とした。

② 野外網室内寄生実験

1995年7月21日、アカマツ生立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした丸太10本 (表面積計3.55m²) を野外網室①に立て掛け、7月24日、羽化後3週間個別飼育したマダラ成虫9ペアを交尾後放虫して産卵させた。8月8日、10本の丸太のうち5本 (1.63m²) を同型の網の目の細かい野外網室②に入れかえ、管瓶内寄生実験と同一の方法でボーベリア菌を付着させたハチ雌成虫を330頭 (200頭/m²) 放虫した。残りの丸太5本 (1.92m²) を別の目の細かい野外網室②に入れ、ハチを放虫しない試験区とし、これを対照区とした。9月25日と翌年7月中旬に丸太を剥皮・割材してハチの寄生状況とボーベリア菌による罹病状況を調査した。なお、9月の調査で採集したマダラ生存幼虫は、常温の室内において管瓶内で10月末まで個別飼育し、発病状況を調査した。

③ 林内寄生実験

1996年8月30日、松くい虫被害により枯損した14年生クロマツ立木3本 (表面積計5.88m²) に、ボーベリア菌を付着させた羽化後間もないハチ雌成虫を1,200頭 (200頭/m²) 放した。ハチへのボーベリア菌付着方法は、ハチを増殖させた管瓶内へ100頭あたり0.003gの菌を入れ軽く振って付着させた。単木ごとに放虫高を変え、主幹部の1.2m、3m、4m高にむしピンを打ち、蓋を取った管瓶をピンに差し込みハチを放虫させた。ハチが脱出した1～2時間後には管瓶を回収した。ハチ放虫木から約50m離れた松くい虫被害木1本 (3.27m²) を対照区とした。10月21日に伐倒・剥皮・割材してハチの寄生状況とボーベリア菌による罹病状況を調査した。調査時のマダラ生存幼虫は、常温の室内において管瓶内で1か月間個別飼育して発病状況を調査した。

ウ) ボーベリア菌培養不織布設置試験

① 立木への設置試験

1996年8月30日、松くい虫被害により枯損した14年生クロマツ立木3本 (樹高: 5.0、7.5、8.0m) に、ボーベリア菌を培養した不織布 (5×50cm) を地上3.5～7.0mの樹幹に1～2枚巻き付け、直射日光を避けるため不織布をアルミ箔で被覆してガンタッカーで固定した。試験に供試した不織布は、SSY寒天培地 (ペプトン10g、ショ糖20g、酵母エキス10g、寒天10g、水1l) をしみこませ、既に培養したボーベリア菌 (F 263菌株) を培地ごと滅菌水とともにホモジナイザーで攪拌し不織布にピペットで接種して、25℃、3週間培養したものを使用した。不織布設置木から50m離れたクロマツ枯損立木 (樹高: 8.5m) 1本を不織布を設置しない試験区とし対照区とした。11月19日に伐倒・剥皮・割材してボーベリア菌による罹病状況を調査した。調査時のマダラ生存幼虫は、常温の室内において管瓶内で1か月間個別飼育して発病状況を調査した。

② 玉切り木への設置試験

1996年9月5日、松くい虫被害により枯損したアカマツ

表-4 野外ナイロンゴース内でのマツノマダラカミキリに対するポーベリア菌付着キイロコクイムシの放虫効果

調査日	放虫頭数 (頭/m ²)	マツノマダラカミキリ幼虫数						罹病率 (%)
		樹皮下		材内		合計		
		生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死	
1994年 8月31日	5000	24	13	4	0	28	13	32
	1000	12	9	4	0	16	9	36
	小計	36	22	8	0	44	22	33
	対照	13	0	0	0	13	0	0
1994年 10月4日	5000	1	26	1	3	2	29	94
	1000	4	21	1	4	5	25	83
	小計	5	47	2	7	7	54	89
	対照	4	0	4	0	8	0	0
1995年 5月24日	5000	0	6	1	2	1	8	89
	1000	0	10	1	9	1	19	95
	小計	0	16	2	11	2	27	93
	対照	3	0	4	0	7	0	0

立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした丸太10本(材積計0.09m³)を林内で2段に井桁積みし、ポーベリア菌を培養した不織布を上段に5枚設置した。林床には高湿度を保つため高分子吸収性樹脂(成分:ポリアクリル酸)を30g/m²散布し、直射日光を避けるため丸太全体を遮光ネット(遮光率70%)で被覆した。丸太10本を林内で2段に井桁積みにしただけの試験区を対照区とした。11月21日、剥皮・割材してポーベリア菌による罹病状況を調査した。調査時のマダラ生存幼虫は、常温の室内において管瓶内で1か月間個体別飼育して発病状況を調査した。

1997年9月12日、松くい虫被害により枯損したアカマツ立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした丸太15本(材積計0.18m³)を林内に伏せ込み、ポーベリア菌培養不織布の設置枚数別(2枚、1枚/本)、高分子吸収性樹脂の林床散布別(30g/m²、無)、鋭目処理別(2本、無)、遮光ネット被覆の有無別に3試験区を設定した。丸太4本(材積計0.06m³)を林内に伏せ込んだだけの試験区を対照区とした。10月14日と翌年3月18日、剥皮・割材してポーベリア菌による罹病状況を調査した。調査時のマダラ生存幼虫は、常温の室内において管瓶内で1か月間個体別飼育して発病状況を調査した。

(2) 結果及び考察

ア) ポーベリア菌付着キイロコクイムシ放虫試験

① 野外ナイロンゴース(袋)内キイロコ放虫試験

表-4に調査結果を示した。対照区ではいずれの調査日においてもポーベリア菌によるマダラ幼虫の罹病死は認められなかった。8月31日のキイロコ放虫区の調査では、マダラ幼虫のほとんどが樹皮下幼虫であったため、ポーベリア菌による罹病死は樹皮下幼虫だけに認められたが、10月4日以降の調査では、マダラ材内幼虫頭数が増えたため材内での罹病頭数も増加した。キイロコ放虫頭数別にマダラ

幼虫の罹病率を見ると、いずれの調査日においても放虫頭数別の罹病率の差は認められなかった。このことから、野外ナイロンゴース内の放虫試験においては、材表面積1m²あたり1000頭のキイロコ放虫で十分な効果があると考えられた。調査日別の罹病率を見ると、8月31日の平均罹病率は33%で10月4日、翌年5月24日の罹病率と比較してかなり低率であった。その理由として、この調査では調査時の生存幼虫を個体別飼育しておらず、生存幼虫の多くが感染していたものの発病には至っていなかったためと考えられた。このことから、1994年の気象条件下では、キイロコ放虫からマダラの罹病死までの期間は1~2ヶ月間を要したと推察された。またこの試験から、ナイロンゴース内でのポーベリア菌付着キイロコ放虫はマダラ防除に高い効果があることが確認された。

② ポーベリア菌自動付与装置によるキイロコ放虫試験

調査結果を表-5に示した。9月25日、翌年5月10日の調査では、キイロコ放虫区のポーベリア菌によるマダラ幼虫の罹病率はいずれも3%と低率であった。9月調査時のマダラ生存幼虫を個体別飼育したところ、樹皮下幼虫1頭、材内幼虫12頭が新たに発病し罹病率は20%に向上したもののその防除効果は十分ではなかった。

キイロコ放虫点からの距離別のマダラ幼虫罹病状況を図-2に示した。放虫点から5mの最も近い場所に設置した調査木の罹病率が最も低い結果であった。この放虫試験では24本(表面積6.78m²)のマダラ産卵木に50,000頭のキイロコを放虫しており、1m²あたりに換算すると7000頭以上放虫したことになる。このような大量の放虫を行っても罹病率が低かった理由として、本試験は松林内で行ったため林内で自然に生息する健全なキイロコとの競合に負け供試木へ穿孔できなかつたためか、あるいは林内の穿孔に条件の良い自然衰弱木・衰弱枝等に強く誘引されたためと推察された。

表-5 林内でのマツノマダラカミキリに対するポーベリア菌自動付与装置によるキイロコキクイムシの放虫効果

調査日	試験区	調査本数	マツノマダラカミキリ幼虫数						罹病率 (%)	
			樹皮下		材内		合計		調査時	1ヶ月後
			生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死		
1995年 9月25日	放虫区	8	5 ^a	1	6 ^b	1	7 ^c	2	3	20
	対照区	2	0	0	1 ^c	0	1 ^c	0	0	6
1996年 5月10日	放虫区	16	17	2	122	2	139	4	3	-
	対照区	4	0	0	8	0	8	0	0	-

^a 1ヶ月後1頭罹病、^b 1ヶ月後12頭罹病、^c 1ヶ月後1頭罹病

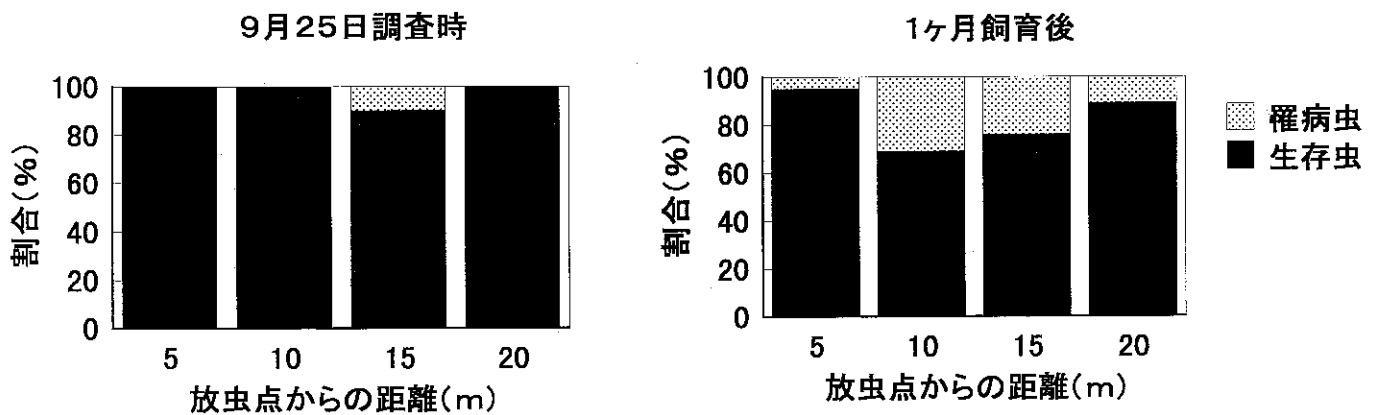


図-2 ポーベリア菌付着キイロコ放虫点からの距離別マダラ罹病状況

イ) ポーベリア菌付着ハチ放虫実験
① 管瓶内寄生実験

表-6 に調査結果を示した。対照区ではいずれの場合もハチの寄生 (ハチ毒針によるマダラ幼虫の麻痺) が見られ

たが、ポーベリア菌によるマダラ・ハチの罹病は見られず、ハチは約1ヶ月後の次世代の羽化時まで全てが生存していた。ポーベリア菌付着ハチ放虫区でもハチ寄生率は100%であった。マダラ幼虫15頭のうちハチが産卵したものは7

表-6 管ビン内でのマツノマダラカミキリに対するポーベリア菌付着クロアリガタバチの放虫効果

試験区	供試幼虫数	寄生率 (%)	ポーベリア菌罹病率 (%)		罹病死までの平均日数	
			マツノマダラカミキリ	クロアリガタバチ	マツノマダラカミキリ	クロアリガタバチ
菌付着区	15	100	87	100	13.1	12.3
対照区	15	100	0	0	-	-

頭で、そのうち卵が孵化したものが3頭、またそのうち孵化幼虫が蛹化するまで生きのびたものが2頭あったが、全て罹病死した。ハチの産卵が見られなかった8頭は、寄生後産卵までの間にハチが罹病死したもので、このうち6頭が罹病死した。罹病が確認されなかった2頭は黒色腐敗したが、ポーベリア菌の関与は不明であった。放虫したハチはすべて罹病し、罹病死までの平均日数は12.3日であり、ポーベリア菌付着によるハチの短命化が認められた。ポーベリア菌による罹病率は87%、罹病死までの平均日数は13.1日であり、管瓶内での伝染率は高いことが確認された。

② 野外網室内寄生実験

表-7 に調査結果を示した。9月25日の調査では、ハチ放虫区のマダラ幼虫9頭のうちポーベリア菌による罹病死は樹皮下4頭、材内1頭、合計5頭であったが、樹皮下生存幼虫を管瓶内で1か月間個別飼育したところ、新たに2頭が罹病し、罹病率は78%となった。放虫したハチの生存およびハチ次世代の寄生は確認されなかった。対照区では、材内幼虫19頭が生存していたがポーベリア菌による罹病は認められず、個別飼育後も罹病しなかった。翌年7月中旬の調査では、ハチ放虫区で2頭が羽化脱出していた

表-7 野外網室内でのマツノマダラカミキリに対するポーベリア菌付着クロアリガタバチの放虫効果

調査日	クロアリガタバチ	調査木 本数	マツノマダラカミキリ幼虫数						罹病率 (%)
			樹皮下		材内		合計		
			生存	罹病死	生存 ^c	罹病死	生存	罹病死	
1995年 9月25日	放虫 ^a	2	2	6 ^b	0	1	2	7	7.8
	非放虫	2	0	0	19	0	19	0	0
1996年 7月中旬	放虫 ^a	3	0	20	2	6	2	26	9.3
	非放虫	3	0	0	8	0	8	0	0

^a 放虫日：1995年8月8日。 ^b うち2頭は割材時生存していたが、1ヶ月以内に発病した。 ^c 7月調査時には全て羽化脱出済み。

表-8 野外枯損木内のマツノマダラカミキリに対するポーベリア菌付着クロアリガタバチの放虫効果

クロアリガタバチ	マツノマダラカミキリ幼虫数 ^b						罹病率 (%)
	樹皮下		材内		合計		
	生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死	
放虫 ^a	35	3 ^c	143	24 ^d	178	27	1.3
非放虫	62	0	59	0	121	0	0

^a 放虫日：1996年8月30日。 ^b 割材日：1996年10月21日。 ^c うち2頭は割材時生存していたが1ヶ月以内に発病。
^d うち21頭は割材時生存していたが、1ヶ月以内に発病。

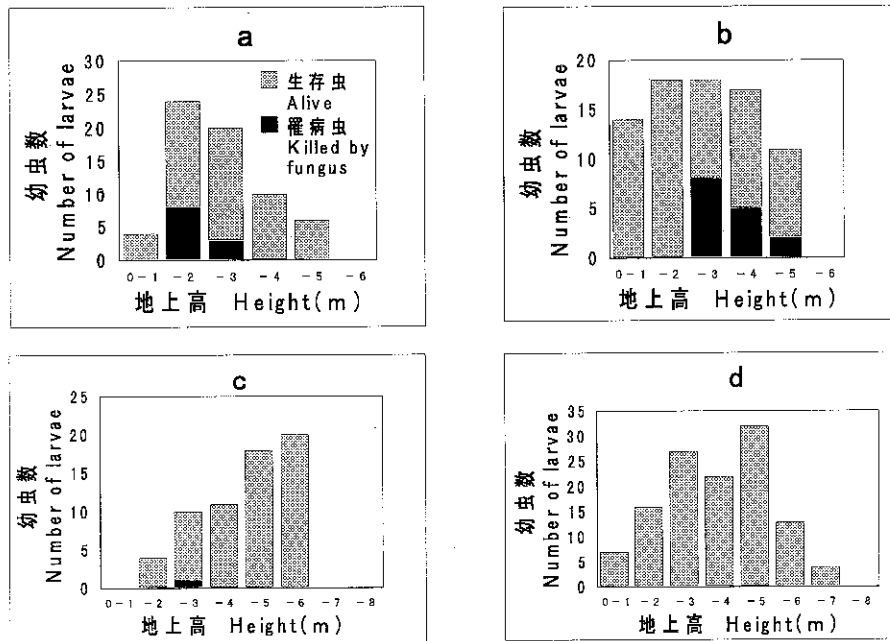


図-3 ポーベリア菌付着クロアリガタバチ放虫によるマツノマダラカミキリ生息地上高別の罹病虫数

a : 放虫高 1.2m、樹高 6.5m b : 放虫高 3.0m、樹高 6.3m
c : 放虫高 4.0m、樹高 8.5m d : 非放虫、樹高 8.5m

が、これを含めたマダラ28頭のうち樹皮下20頭、材内6頭、合計26頭が罹病死しており、罹病率は93%であった。対照区では、8頭が羽化脱出していたがポーベリア菌による罹病は認められなかった。全体では、ハチ放虫区のマダラ罹病率は89%で、網室内でも高い寄生効果が認められた。

③ 林内寄生実験

表-8に調査結果を示した。調査時には、ハチ放虫区全体で樹皮下1頭、材内3頭、合計4頭のマダラ幼虫しか罹病死していなかったが、調査時の生存幼虫を1ヶ月間管瓶内で個別飼育したところ、樹皮下幼虫2頭、材内幼虫21頭が新たに発病し、罹病率は樹皮下1%、材内12%、全体

で13%となった。樹皮下幼虫より材内幼虫の罹病率が高かったのは、ハチ放虫時には供試木から長く白い木屑が排出されており、蛹室形成中またはその直前の比較的寄生されやすい状態のマダラ幼虫の比率が高かったためと、蛹室を形成するような体サイズの大きい成熟した幼虫にハチが強く誘引されたためと推察された。図-3にマダラ生息地上高別罹病状況を示した。放虫区ではいずれも、放虫部位周辺又はその上部2mまでにボーマリア菌によるマダラの罹病死が認められた。このことからハチの寄主探索行動は樹幹上方向に行われその範囲はあまり大きくなかったと推察された。割材調査時には、放虫したハチおよびその次世代は確認されず、全て死亡または分散したものと考えられた。また、本実験の平均罹病率13%は、1995年に林内で

ボーマリア菌を付着しないでハチを放虫した実験(岡本1997)におけるマダラの空室の蛹室率25%より低かったことから、ハチにボーマリア菌を付着させた効果は認められなかった。その理由として、ボーマリア菌を付着させたためのハチの短命化がひとつの原因として考えられた。また、岡山県気象台(1996)によると、実験期間中の9月の平均気温は20.5℃で平年値より0.7℃低く、降水量は111mmで平年値の半分以下、平均相対湿度は79%であった。ハチは20℃以下では産卵行動を行わないことや(奥谷ら1988)、ボーマリア菌胞子の発芽率は気温28℃、相対湿度94~100%の時最大になることが知られており(福原1979)、低温少雨の影響により、ハチの寄主探索行動と菌の発芽が抑制されたことも原因として考えられた。

表-9 林内枯損立木へのボーマリア菌培養不織布設置によるマツノマダラカミキリ防除効果

調査木 No.	樹高 m	試験区	マツノマダラカミキリ幼虫数						罹病率(%)	
			樹皮下		材内		合計		調査時	1ヶ月後
			生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死		
1	7.5	2枚設置	0	1	20 ^{a)}	2	20	3	13	35
2	8.0	2枚設置	11 ^{b)}	0	6 ^{c)}	0	17	0	0	18
3	5.0	1枚設置	11 ^{d)}	2	13 ^{e)}	2	24	4	14	36
		合計	22	3	39	4	61	7	10	31
4	8.5	対照区	62	0	59	0	121	0	0	0

a) 1ヶ月後5頭罹病、 b) 1頭罹病、 c) 2頭罹病、 d) 1頭罹病、 e) 6頭罹病

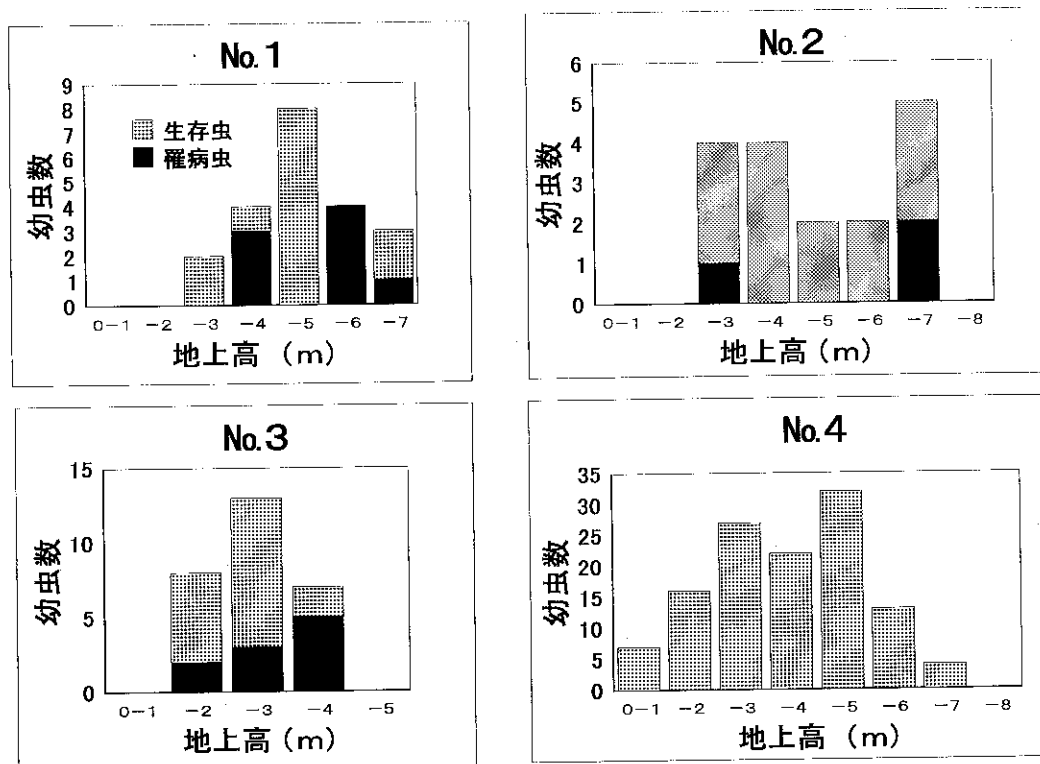


図-4 ボーマリア菌培養不織布設置によるマツノマダラカミキリ生息地上高別の罹病虫数
 No. 1: 設置高 4.0m・6.0m、樹高 7.5m No. 2: 設置高 4.0m・7.0m、樹高 8.0m
 No. 3: 設置高 3.5m、樹高 5.0m No. 4: 対照区、樹高 8.5m

表-10 林内伐倒木へのボーベリア菌培養不織布設置によるマツノマダラカミキリ防除効果 (1996年)

試験区	供試木 本数	マツノマダラカミキリ幼虫数						罹病率 (%)	
		樹皮下		材内		合計		調査時	1ヶ月後
		生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死		
5枚設置	10	103 ^a	10	19 ^b	4	122	14	10	50
対照区	10	54	0	18	0	72	0	0	0

^a 1ヶ月後41頭罹病、

^b 1ヶ月後14頭罹病

ウ) ボーベリア菌培養不織布設置試験

① 立木への設置試験

調査結果を表-9に示した。対照区ではボーベリア菌によるマダラ幼虫の罹病は認められなかった。不織布設置区における供試木3本の平均罹病率は10%と低率であり、生存幼虫を個別飼育したところ罹病率は平均31%に向上したが、十分な防除効果は認められなかった。不織布の設置枚数別の差も認められなかったが、これは1枚区の樹高が低く、2枚区の樹高が高かったため、樹高あたりの相対的な設置枚数に大きな差がなかったためと考えられた。不織布の設置は供試木ごとに設置高を変えて行ったため、マダラ生息地上高別の罹病状況を図-4に示した。供試木No. 1と2では不織布設置部から下部へ1m程度、No. 3では下部へ2m程度の範囲で罹病虫が確認され、設置部から1m下部周辺で罹病率が特に高かった。このことから、ボーベリア菌のマダラへの感染は、雨水に溶けた分生胞子が樹幹を下り幼虫に接触して感染・発病すると考えられ、不織布からの距離が遠くなるほど分生胞子の密度が低くなり、あるいは直射日光により分生胞子が死滅して発病率が低下すると推察された。また、本試験結果から樹幹全てに1m間隔で不織布を設置すれば高い防除効果が期待できると推察されたが、立木への不織布の設置は、樹高が高くなるほど困難で危険な作業となるため現実的ではないと思われた。

② 玉切り木への設置試験

1996年の調査結果を表-10に示した。対照区ではボーベリア菌によるマダラ幼虫の罹病は、割材調査時及び個体別飼育後も認められなかった。不織布設置区の罹病率は、調査時には10%と低率であったが、生存幼虫飼育後の罹病率は50%に達した。樹皮下・材内別マダラ幼虫の罹病率を見ると、調査時の樹皮下幼虫の罹病率は9%、材内幼虫の罹病率は17%であったが、飼育後には樹皮下幼虫で41頭が新たに発病し罹病率45%、材内幼虫で14頭が発病し罹病率78%となり、材内幼虫での罹病率が高かった。蛹室を形成する終齢幼虫は若齢幼虫に比べ樹皮下での移動範囲が比較的大きいと考えられ、このため高率でボーベリア菌に接触・感染したと推察された。

1997年の調査結果を表-11に示した。対照区ではボーベリア菌によるマダラ幼虫の罹病は認められなかった。不織布設置区では、1枚設置区より2枚設置区の罹病率が高くなる傾向が認められ、特に2枚設置区の10月14日の調査では、調査時の罹病率は11%と低率であったものの、生存幼虫飼育後の罹病率は70%に達した。1枚設置区における保水剤散布、カンレイシャ被覆、鉋目施業の効果は認められなかったが、これは供試木設置林分が谷部に位置し樹冠が比較的鬱閉していたため、遮光や保湿の効果が現れにくい条件下であったためと推察された。本試験結果から罹病率

表-11 林内伐倒木へのボーベリア菌培養不織布設置によるマツノマダラカミキリ防除効果 (1997年)

試験区	設置枚数	保水剤	被覆	鉋目	調査月日	供試木 本数	マツノマダラカミキリ幼虫数				罹病率 (%)			
							樹皮下		材内		合計		調査時	1ヶ月後
							生存	罹病死	生存	罹病死	生存	罹病死		
2枚	有	有	有	2本	10月14日	2	6	1	27 ^{a)}	3	33	4	11	70
					翌3月18日	3	14 ^{b)}	10	10 ^{c)}	7	24	17	41	51
					小計	5	20	11	37	10	57	21	27	60
1枚	有	有	有	2本	10月14日	2	6 ^{d)}	0	18 ^{e)}	0	24	0	0	20
					翌3月18日	3	18	0	28 ^{f)}	3	46	3	6	22
					小計	5	24	0	46	3	70	3	4	22
1枚	無	無	無	無	10月14日	2	0	1	19 ^{g)}	3	19	4	17	68
					翌3月18日	3	4	0	20 ^{h)}	5	24	5	17	21
					小計	5	4	1	39	8	43	9	17	40
対照区					10月14日	2	17	0	4	0	21	0	0	0
					翌3月18日	2	4	0	6	0	10	0	0	0
					小計	4	21	0	10	0	31	0	0	0

^{a)} 1ヶ月後22頭罹病、 ^{b)} 3頭罹病、 ^{c)} 1頭罹病、 ^{d)} 1頭罹病、 ^{e)} 3頭罹病、 ^{f)} 8頭罹病、 ^{g)} 9頭罹病、 ^{h)} 1頭罹病

を向上させるためには不織布の2枚設置が特に有効であることが示唆された。

ボーマリア菌の防除効果は、気温・雨量・湿度等の気象条件に大きく左右される(福原 1979)ため、今後も繰り返し試験の実施が必要であると思われる。

Ⅲ 伐倒施業の改善(被害材の乾燥促進)試験

1. 材料と方法

(1) 伐倒時期別・玉切長別試験

1993年、松くい虫被害木を伐倒時期別(8月24日、10月6日、11月2日、11月30日)、玉切長別(0.5、1.0、2.0m)、背割りの有無別に合計48本を施業し林外に設置して、翌年の5月下旬まで含水率の経時変化とマダラ羽化脱出直前に蛹室周辺の線虫生息数を調査した。背割りはチェーンソーを用い材中心部まで行い、施業木は乾燥を促進させるためコンクリートブロック上に設置した。含水率の測定は木材水分計(ケット科学研究所製:タークH)を使用し、線虫の分離はベルマン法で行った。

(2) 施業方法(背割り・鋸目)別、林内・林外別試験

1995年12月7日、松くい虫被害木を伐倒し長さ50cmに玉切りし、丸太の径級(直径:10、20、30cm)別、施業方法(背割り、鋸目1本・2本・3本、無処理)別に施業し、林内と林外に各30本設置した。鋸目処理はチェーンソーを用い丸太垂直方向に45°の角度で材中心部まで行い、コンクリートブロック上に設置した。その後翌年の6月上旬まで木材水分計による含水率の経時変化とマダラ羽化脱出直前の蛹室周辺等の線虫生息数を調査した。その後施業木をナイロンゴース(袋)にいれ羽化脱出したマダラ成虫の線虫保持数を順次調査した。

(3) シート被覆試験

1996年3月26日、松くい虫被害木を伐倒し長さ50cmに玉切りし、丸太の径級(直径:10~25cm)別、施業方法(背割り、鋸目1本・2本・3本、無処理)別に施業し、林内と林外に各30本設置してナイロンシートで被覆した。施業木は直径10cm程度の間伐木を輪木に用いてその上に設置した。シート被覆は半円状のパイプを用い、側面は開放して通風を配慮した。その後6月上旬まで施業木重量の経時変化とマダラ羽化脱出直前の蛹室周辺等の線虫生息数、マダラ羽化脱出成虫の線虫保持数を調査した。また、重量調査最終日の6月10日には、施業木の間部から厚さ2cm程度の円盤を採取し、105℃で恒量に達するまで乾燥させ絶乾含水率を測定した。この最終含水率を基に調査期間中の絶乾含水率を推定した。

1997年3月18日、前年と同じ試験区を設定し、同じ調査方法で繰り返し試験を行った。ただ、省力化を図るため施業木をシートで直接被覆した。

2. 結果及び考察

(1) 伐倒時期別・玉切長別試験

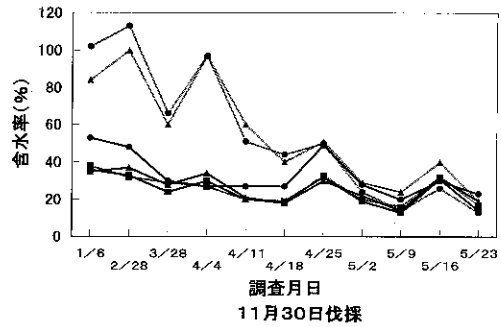
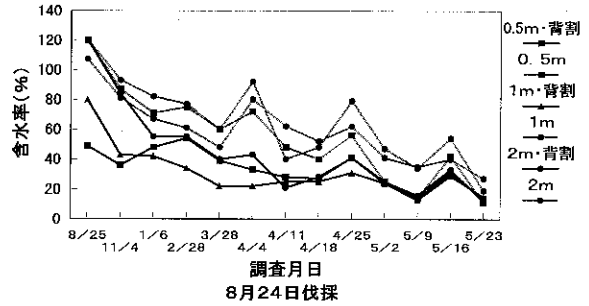


図-5 施業改善木の含水率調査

伐倒時期別の含水率変化の差を見るため、最も早く伐倒した8月24日と最も遅く伐倒した11月30日の含水率調査結果を図-5に示した。含水率は降雨・降雪の影響を大きく受け、増減を繰り返しながら徐々に低下したが、含水率30%程度の繊維飽和点付近で低下が長期間停止する傾向が4月末頃まで認められたため、伐倒時期別の最終含水率には大きな差は認められなかった。異常乾燥注意報がしばしば発令される5月以降、含水率はさらに低下する傾向であった。施業別の含水率変化の差を見ると、背割りをいれ短く玉切った施業木ほど含水率が低くなる傾向が認められた。

施業改善木からの線虫分離結果を表-12に示した。短く玉切りし背割り施業した供試木ほど線虫検出数は減少する傾向が認められ、特に、0.5mに玉切りし背割りを入れた施業木4本・4箇所の蛹室周辺部からは線虫は全く分離されなかった。線虫の増殖は含水率60%以下では困難であり樹体内移動は含水率が80%以上あると活発に行われる(堂園・橋本 1974)ことが知られており、材の乾燥促進によって線虫の増殖や蛹室周辺部への材内移動を阻止できる可能性が示唆された。

図-6に試験期間中の降水量を示した。材の乾燥に大きく影

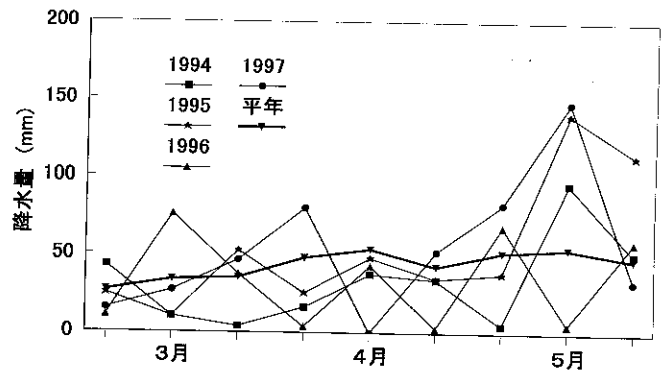


図-6 年・月別降水量

表-12 施業改善木からの線虫分離 (1994年: 林外試験)

材長 (m)	背割の有無	最終含水率 (8本平均%)	材採取部位	採取箇所数	線虫分離箇所数	分離平均線虫数 (頭/材1g)
0.5	有	1.1	蛹室周辺部	4	0	0
			対照部	4	1	2
			小計	8	1	1
	無	1.5	蛹室周辺部	4	4	2.6
			対照部	4	2	1.0
			小計	8	6	1.8
合計			16	7	1.0	
1.0	有	1.8	蛹室周辺部	4	3	3.0
			対照部	4	2	1.7
			小計	8	5	2.4
	無	2.0	蛹室周辺部	4	3	4.2
			対照部	4	4	1.0
			小計	8	7	2.6
合計			16	12	2.5	
2.0	有	1.6	蛹室周辺部	4	4	1.85
			対照部	4	4	2.4
			小計	8	8	1.05
	無	1.6	蛹室周辺部	4	4	2.18
			対照部	4	3	1.2
			小計	8	7	1.15
合計			16	15	1.10	

響すると思われる春以降の3～5月の降水量を見ると、1994年は平年に比べ明らかに小雨であり、この気象条件が材の乾燥を助長したと考えられた。

(2) 施業方法(背割・鋸目)別、林内・林外別試験

表-13に林内試験区の0.5m玉切り施業木の調査結果を示した。材からの線虫分離では、処理区分に関わらずほとんどの採材箇所から線虫が分離され、蛹室周辺部での分離頭数が多かったことから、線虫の材内移動を阻止できなかったと考えられた。マダラ羽化脱出成虫からの線虫分離においてもほとんどのマダラが線虫を保持して保持数も通常の保持頭数と大差はなく、各種の施業を行ってもマダラへの線虫乗り移りを阻止できなかった。林外試験区の調査結果も林内試験区の結果と大差は認められなかった。マダラ蛹室壁の含水率が20%以下になると線虫の第3期幼虫が耐久型幼虫になる割合が低下しマダラには全く乗り移らなくなる(森本桂・岩崎厚 1973)ことが知られているが、今回の調査では最終含水率においても30%を越えていたため線虫が乗り移ったものと考えられた。効果が認められた1994年と同じ施業をしても効果が認められなかった理由として、材の乾燥に特に重要な5月の降水量が平年の2倍(292mm)あった(図-6)ためと推察され、降雨対策が必要と考えられた。

(3) シート被覆試験

1996年の林内試験区の調査結果を表-14に示した。6月10日の最終含水率(絶乾)は、目標(20%)に近い値まで

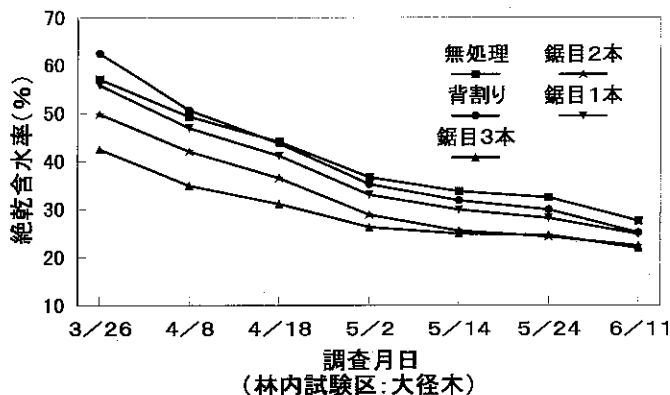


図-7 処理区分別含水率調査

ほぼ減少していた。材からの線虫分離試験では、対照部における施業後(6月10日)の分離頭数は施業前(3月26日)に比べ大きく減少した。蛹室周辺部の線虫分離頭数は対照部と比較して多く、蛹室周辺に誘引されていたが、鋸目、背割り施業木から羽化脱出したマダラ17頭から線虫は全く分離されなかった。この結果は、林外試験区でも同様であった。

最も乾燥が遅かった林内試験区の大径木(直径約25cm)6本の含水率調査結果を図-7に示した。シート被覆すると降雨の影響は小さく含水率は漸減する傾向が見られ、無処理に比べ背割り等の施業が乾燥を促進させたことが確認された。また、図-7から供試木の施業前の含水率が既に80%を下回っていたことから、施業後の蛹室周辺部で線虫が多く分離されたのは、材内移動が阻止できなかったのではなく、施業時には線虫が蛹室周辺に既に誘引されていたため

表-13 施業改善木からの線虫分離 (1995年：林内試験区)

材長 (m)	処理区分	最終含水率 (6本平均) (%)	材からの線虫分離			カミキリからの線虫分離		
			材採取部位	採取箇所数	線虫分離箇所数	分離平均線虫数 (頭/材1g)	線虫保持率 (%)	保持線虫数
0.5	鋸目3本	3.2	蛹室周辺部	6	6	389	100	4,005
			対照部	6	4	19		
			小計	12	10	204		
0.5	鋸目2本	3.3	蛹室周辺部	6	6	174	75	13,895
			対照部	6	3	13		
			小計	12	9	94		
0.5	鋸目1本	3.1	蛹室周辺部	6	6	172	86	9,048
			対照部	6	4	98		
			小計	12	10	135		
0.5	背割り	3.1	蛹室周辺部	6	6	276	100	8,032
			対照部	6	6	39		
			小計	12	12	158		
0.5	無処理	3.1	蛹室周辺部	6	6	112	100	5,655
			対照部	6	4	41		
			小計	12	10	77		

表-14 施業改善木からの線虫分離 (1996年：林内試験区)

材長 (m)	処理区分	最終含水率 ^a (6本平均) (%)	材からの線虫分離数(頭/材1g)		羽化カミキリからの線虫分離	
			材採取部位 (各6箇所)	施業前 ^b	施業後 ^c	線虫保持率 (%)
0.5	鋸目3本	2.2	蛹室周辺部	71	0(0/4)	0
			対照部	194	100	0
0.5	鋸目2本	2.2	蛹室周辺部	157	0(0/5)	0
			対照部	179	51	0
0.5	鋸目1本	2.3	蛹室周辺部	864	0(0/4)	0
			対照部	420	18	0
0.5	背割り	2.2	蛹室周辺部	114	0(0/4)	0
			対照部	254	24	0
0.5	無処理	2.6	蛹室周辺部	250	33(2/6)	2,892
			対照部	428	52	0

^a 絶乾含水率：6月10日調査、^b 3月26日、^c 6月10日

と推察された。

1997年の林内試験区の調査結果を表-15に示した。輪木の上に設置し地面から離れた施業木の含水率が地面に直接設置したものより高く、輪木の効果は認められなかった。この試験では施業木を直接シート被覆したため、輪木に乗せた施業木の地上高が地面に直接設置した施業木より高くなり、シートに接触してシート内部の水滴が染み込んだためと考えられた。材からの線虫分離試験では、対照部における施業後(6月10日)の分離頭数は施業前(3月18日)に比べ大きく減少した。蛹室周辺部の線虫分離頭数は対照部と比較して多く、蛹室周辺部に誘引されていたが、鋸目、背割り施業木から羽化脱出したマダラの大半が保持頭数は通常より少ないものの線虫を保持していた。この結果は、林外試験区でも同様であり、林内・林外の線虫保持率は平均42%であった。なお、1997年の試験期間中の降水量は図-6のとおりで、5月の降水量(263mm)は平年値の1.7倍あり、この多雨条件も材の乾燥を阻害した要因のひとつと考えられた。

以上の結果から、短玉切り、背割り・鋸目処理等の施業効果は、直接シート被覆すると内部が過湿となり、降水量に大きく影響を受け変動すると考えられた。

IV マダラ不妊化試験

1. 材料と方法

(1) マダラ雄成虫への軟X線照射試験

1993年8月上旬、羽化後3週間ポリカップ内で個体別飼育したマダラ雄成虫各5頭に、軟X線発生装置(オーミック社製：OM-S60AC)によりX線量935R/minを5、3、2、1時間照射し、その後の生存日数を調査した。

同年8月中旬、アカマツ生立木を伐倒し、長さ1mに玉切りした丸太15本(表面積計4.59m²)を野外網室①3基に各5本立て掛け、羽化後3週間ポリカップ内で個体別飼育したマダラ雄成虫各5頭にX線量935R/minを15、30、60分照射し、通常の雌各5頭と交尾後各網室に放虫して産卵させた。丸太13本(3.64m²)に通常のマダラ30ペアを放

表-15 施業改善木からの線虫分離 (1997年: 林内試験区)

材長 (m)	輪木の有無	処理区分	最終含水率 ^a (3本平均) (%)	材からの線虫分離数(頭/材1g)		羽化カミキリからの線虫分離		
				材採取部位 (各3箇所)	施業前 ^b	施業後 ^c	線虫保持率 (%)	保持線虫数
0.5	有	鋸目3本	3.8	蛹室周辺部		7.2	100(3/3)	521
				対照部	26.7	1.2		
		鋸目2本	4.3	蛹室周辺部		11.4	100(1/1)	4,095
				対照部	46.1	7		
		鋸目1本	3.4	蛹室周辺部		21.7	羽化無し	
	対照部			32.1	4			
	背割り	4.0	蛹室周辺部		1.8	100(1/1)	3	
	対照部		35.0	8				
	無処理	4.5	蛹室周辺部		5.8	100(2/2)	1,421	
			対照部	72.9	3			
0.5	無	鋸目3本	2.6	蛹室周辺部		42.0	羽化無し	
				対照部	25.6	3.4		
		鋸目2本	2.6	蛹室周辺部		71.6	50(1/2)	8
				対照部	14.4	5.0		
		鋸目1本	2.7	蛹室周辺部		10.3	40(2/5)	1,487
	対照部			8.0	1.9			
	背割り	2.6	蛹室周辺部		3.4	50(1/2)	32	
	対照部		4.5	1.6				
	無処理	2.7	蛹室周辺部		3.5	0(0/3)	0	
			対照部	13.4	1.7			

^a 絶乾含水率: 6月10日調査、^b 3月18日、^c 6月10日

虫し対照区とした。9月6日に試験区別の産卵痕数と、翌年には試験区別の羽化頭数と羽化成虫の個体別飼育による生存日数を調査した。

(2) マダラ幼虫への軟X線照射試験

1994年4月22日、松くい虫被害木を割材してマダラ幼虫40頭を採集し、濾紙を半周敷いた管瓶内で個体別飼育した。4月27日、幼虫各10頭にX線量935R/minを15分、30分、60分照射して25℃の恒温器に入れ蛹化・羽化させ、羽化成虫の催奇性や生存日数を調査した。残りの幼虫10頭を軟X線を照射しない試験区とし対照区とした。

(3) マダラ雄蛹への軟X線照射試験

1994年4月22日、松くい虫被害木を割材してマダラ幼虫を採集して、濾紙を半周敷いた管瓶内で個体別飼育し、常温室内で蛹化させた。5月中旬以降、順次蛹化した雄蛹各5頭にX線量935R/minを15分、30分、60分照射して25℃の恒温器に入れ羽化させた。軟X線を照射しない雄蛹5頭を対照区とした。蛹の雌雄判別は、触角の巻き回数(遠田1977)と腹部末端の2つの乳頭状突起の有無(雄は無)により区分した。5月下旬以降、羽化成虫を順次ポリカップ内で個体別飼育した。7月26日、アカマツ生立木を伐倒し長さ1mに玉切りした丸太9本(3.64m²)を野外網室①3基に各3本立て掛けた。同日、羽化奇形虫と後食飼育中の死亡虫を除き、30分と15分照射区、対照区で得られた雄成虫各3頭を通常の雌各3頭と交尾後、各網室に放虫し産卵させた。9月12日、丸太を剥皮・割材して次世代孵化幼虫

数を調査した。

1995年4月27日、松くい虫被害木を割材してマダラ幼虫を採集して、管瓶内で個体別飼育し常温室内で蛹化させた。6月上旬以降、順次蛹化した雄蛹各10頭にX線量935R/minを20分、25分照射して25℃の恒温器に入れ羽化させた。軟X線を照射しない雄蛹10頭を対照区とした。6月下旬以降、羽化成虫を順次個体別飼育した。7月24日、アカマツ生立木を伐倒し長さ1mに玉切りした丸太15本(5.23m²)を野外網室①3基に各5本立て掛けた。同日、後食飼育中の死亡虫を除き、20分と25分照射区、対照区で得られた雄成虫各9頭を通常の雌各9頭と交尾後、各網室に放虫し産卵させた。9月20日、丸太を剥皮・割材して次世代孵化幼虫数を調査した。

2. 結果及び考察

(1) マダラ雄成虫への軟X線照射試験

軟X線照射時間別のマダラ雄成虫の生存日数を表-16に示した。5、3時間照射区では照射日に、2時間照射区で表-16 軟X線照射による雄成虫への影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (時間)	照射頭数 (頭)	生存日数 (日)
935	5	5	0
	3	5	0
	2	5	2~5
	1	5	7以上

表-17 軟X線を照射した雄成虫の交尾後に次世代に及ぼす影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (分)	照射雄頭数 (頭)	通常雌頭数 (頭)	放虫木		産卵痕数 (個/m ²)	羽化頭数 (頭/m ²)	生存日数 平均(日)
				本数(本)	表面積(m ²)			
935	60	5	5	5	1.341	139	2.8	14.5
	30	5	5	5	1.753	163	2.4	13.7
	15	5	5	5	1.500	144	2.9	10.9
対照	0	30	30	13	3.637	102	3.9	11.0

表-18 軟X線照射による幼虫への影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (分)	供試頭数 (頭)	平均体重 (mg)	死亡幼虫数 (頭)	羽化成虫数		生存日数 平均(日)
					奇形	正常	
935	60	10	315	9	1	0	7
	30	10	343	7	1	2	13
	15	10	349	7	0	3	12.1
対照	0	10	332	3	0	7	12.0

は照射後5日以内に全てのマダラが死亡したが、1時間照射区では7日以上生存した。このことから、軟X線量935R/minを照射して雄成虫の不妊化調査を行うには1時間以内の照射が適当であると推察された。

表-17に軟X線照射雄成虫の不妊化調査結果を示した。照射区内の比較では次世代の羽化数・生存日数において照射時間による明らかな差は認められず、対照区との比較でも差が認められなかったことから、雄成虫への軟X線照射による不妊化効果は確認できなかった。

(2) マダラ幼虫への軟X線照射試験

調査結果を表-18に示した。照射区では対照区に比べ蛹化することなく死亡する幼虫の割合が高く、軟X線照射による蛹化障害が認められた。羽化成虫にも奇形が生じ、生存日数も短い傾向が認められた。このため、羽化成虫の不妊化調査を行うことが出来なかった。

(3) マダラ雄蛹への軟X線照射試験

調査結果を表-19に示した。対照区では全ての蛹が正常に羽化した。照射区では羽化障害が認められ、外見上正常な成虫は60分照射区で2頭、30分区で3頭、15分区で4

頭が羽化した。後食飼育中の死亡虫を除き、30分、15分照射区の雄成虫各3頭と通常の雌各3頭を交尾させ、産卵試験を行った(表-20)。その結果、15分照射区では次世代幼虫が孵化・生存したが、30分照射区では産卵痕および卵が確認されたが次世代幼虫の孵化・生存は全く認められなかった。このことから、マダラ雄蛹への軟X線照射による不妊化の可能性が示唆され、その照射時間は30分前後であると推察された。

照射時間が長くなると正常羽化成虫の羽化率が低下する傾向が認められたため、効率よく正常虫を得るために25分、20分照射して不妊化試験を行った(表-21)。尚照射区とも正常成虫の羽化率は90%と比較的高率であったが、次世代幼虫の孵化・生存数は対照区に比べ少なかったものの完全不妊化には至らなかったため、完全不妊化のための照射時間は30分以上と考えられた。

表-19 軟X線照射による雄蛹への影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (分)	供試頭数 (頭)	平均体重 (mg)	死亡蛹数 (頭)	羽化成虫数	
					奇形	正常
935	60	5	377	1	2	2*
	30	5	387	1	1	3
	15	5	326	0	1	4
対照	0	5	431	0	0	5

* 羽化後11日、35日で死亡

表-20 軟X線を照射した雄蛹の羽化後に次世代に及ぼす影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (分)	照射雄頭数 (頭)	通常雌頭数 (頭)	放虫木		産卵痕数 (個/m ²)	幼虫頭数 (頭/m ²)
				本数 (本)	表面積 (m ²)		
935	30	3	3	3	1.099	209	0
	15	3	3	3	1.115	265	53
対照	0	3	3	3	1.429	59	20

表-21 軟X線を照射した雄蛹の羽化後に次世代に及ぼす影響

照射X線量 (R/min)	照射時間 (分)	照射雄頭数 (頭)	通常雌頭数 (頭)	放虫木		産卵痕数 (個/m ²)	幼虫頭数 (頭/m ²)
				本数 (本)	表面積 (m ²)		
935	25	9*	9	5	1.649	124	14
	20	9*	9	5	1.758	140	8
対照	0	9	9	5	1.821	139	25

* 10頭に照射したが、飼育中に各1頭死亡

V マダラ発生消長調査

1. 材料と方法

1993~1997年、長さ1mに玉切りした丸太(直径10~15cm)を127~150本収集し、岡山県林業試験場内の2.85×2.85×1.80mの野外大型網室(金網:1.5mmメッシュ)に立て掛け、6月から羽化終了時まで、マダラ成虫の羽化数と雌雄を毎日調査した。

2. 結果及び考察

1993年~1997年のマダラ発生消長状況を表-22と図-8に示した。最初発生日、50%発生日、最終発生日は調査年で大きく変動した。最初発生日が最も早かったのは6月11日(1997)、最も遅かったのは7月6日(1995)でその差25日、最終発生日が最も早かったのは8月12日(1996)、最も遅かったのは9月14日(1993)で、その差33日であった。初発日から発生終了までの期間を見ると、最も短かったのは1995年の47日間、最も長かったのは1993年の85日間で、その差38日であった。羽化成虫の性比(♀/♂+♀)最大値は1996年の56%、最小値は1997年の43%で、その差13%であった。

表-22 マツノマダラカミキリ発生消長調査

調査年	発 生 日			発 生 頭 数		
	最 初	50%	最 終	雄	雌	合計
1993	6月21日	7月30日	9月14日	264	292	556
1994	6月13日	7月14日	8月29日	101	87	188
1995	7月6日	7月27日	8月22日	345	353	698
1996	6月25日	7月22日	8月12日	141	179	320
1997	6月11日	7月17日	8月18日	17	13	30

図-9に年・月別の平均気温を示した。一般的に高温の年は羽化脱出が早くなることが知られており、特にマダラの蛹化・羽化に大きく影響する4~5月の平均気温を見る

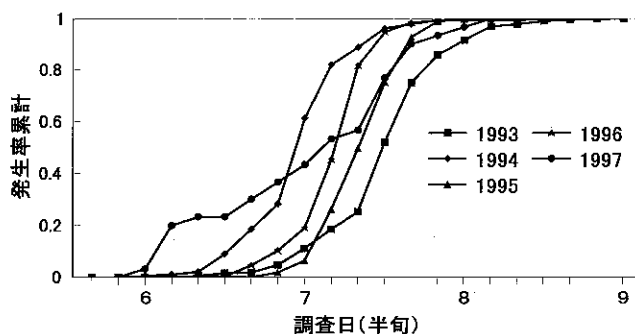


図-8 調査年別発生状況(累計)

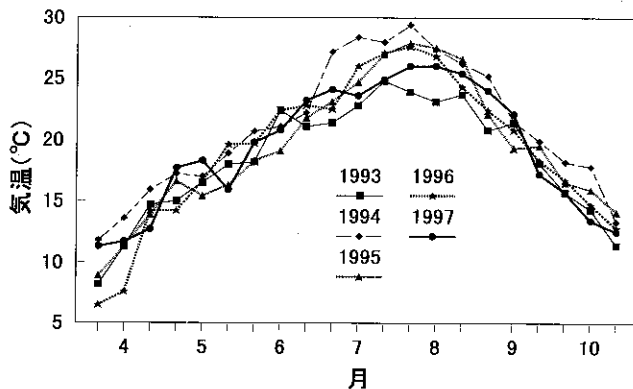


図-9 月別平均気温(津山市:上・中・下旬ごと)

と、1994、1997年は比較的高く4月上旬には発育零点を越えていたが、1995、1996年は比較的低く、この気温の高低差が初発日の早遅によく一致した。性比の変動要因には温度条件が関与し、温度の高いときは性比が小さくなることが示唆されており(岸 1988)、本調査でもこの傾向が認められた。

VI マダラ生息密度調査

1. 材料と方法

1993～1997年、岡山県林業試験場内のアカマツ林2箇所
に誘引器（誘引剤：マダラコール）各1器を地上高3mに
設置し、6月から10月末までマダラ成虫の捕獲数と雌雄を
毎週調査した。なお、誘引剤は3週間毎に、誘引器内の水
と界面活性剤は毎週交換した。

2. 結果及び考察

1993～1997年のマダラ捕獲状況を表-23、図-10に示し
た。調査年別に捕獲状況を見ると、最初・最終捕獲日、捕
獲頭数、性比はおおきく変動した。最初捕獲日が最も早かっ
たのは6月16日（1997）、最も遅かったのは7月24日（1995）
でその差38日、最終捕獲日が最も早かったのは9月10日
（1996）、最も遅かったのは10月31日（1994）で、その差
51日であった。最初捕獲日から捕獲終了までの期間を見ると、
最も短かったのは1997年の35日間、最も長かったのは
1994年の84日間で、その差46日であった。月別気温（図-
9）との関係を見ると、4～5月が高温の年は早くから捕
獲され、9～10月が高温の年は遅くまで捕獲される傾向が
認められた。捕獲成虫の性比最大値は1997年の61%、最小
値は1994年の31%で、その差30%であったが、捕獲成虫の
性比と月別気温との明らかな関係は認められなかった。

表-23 誘引剤によるマツノマダラカミキリの捕獲調査

調査年	捕 獲 日			捕 獲 頭 数		
	最 初	50%	最 終	雄	雌	合計
1993	6月30日	8月30日	10月21日	36	30	66
1994	6月20日	8月8日	10月31日	34	15	49
1995	7月24日	8月7日	10月2日	4	6	10
1996	7月1日	7月29日	9月10日	6	6	12
1997	6月16日	8月18日	9月22日	20	31	51

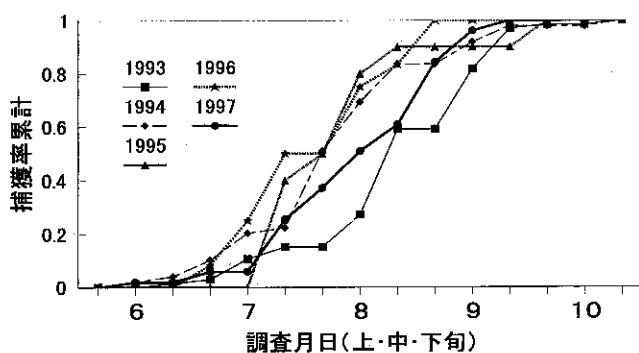


図-10 マツノマダラカミキリ捕獲状況

VII お わ り に

天敵生物による防除試験のうち、ハチ放虫試験では管瓶
内や網室内の閉ざされた狭い空間の中では高い寄生効果が
認められたが、開かれた林内での放虫試験ではハチを大量
放虫してもその効果は劣り、ハチ次世代の寄生はほとんど

認められなかった。その理由として、ハチの多様な寄主選
択の可能性と放虫時期の遅れを推察した。すなわち、ハチ
の寄生にはハチの寄生・産卵行動に適した気温20℃以上の
比較的高温期に寄主となる幼虫や蛹の存在が必要で、マダ
ラの場合はその時期がややはずれるため寄生がうまくいか
ず、自然界では高温期に幼虫態で生息する昆虫に好んで寄
生するのではないかと推察された。秋期に外観上の松枯れ
を確認してからのハチの放虫では気温の低下とともに寄生
効果が劣ることが推察され、今後は、松枯れ被害を予想し
た夏期の放虫試験や、マダラ羽化直前期での放虫試験を行
う必要がある。ポーベリア菌を利用した防除試験では、現
在のところ不織布で培養した菌を伐倒木へ利用する方法が
最も有効で現実的であると考えられた。ポーベリア菌は高
温を好みさらに高湿度を必要とすることや、防除効果はそ
の年の気候条件に大きく影響されることから、今後は最も
効率的な設置時期の解明や気候の影響を比較的受けにくく
温度・湿度をコントロールできる設置方法を検討する必要
がある。

伐倒施業の改善（被害材の乾燥促進）試験は、1mm以上
の降水量の日数が全国一少ない温暖な岡山県の気候特性に
注目し、材を極度に乾燥させ線虫のマダラへの乗り移りを
阻止する目的の実験であった。試験期間中の降水量が平年
値より少なく、50cmに玉切りし背割り等の施業を行うと、
線虫の材内移動・マダラへの乗り移りを阻止できる可能性
が示唆された。しかし、この効果はその年の降水量に大き
く影響され、施業の内容は簡素とはいえ現実的ではな
かった。岡山県南部の瀬戸内海沿岸の乾燥地域では、省力
化した施業で効果が期待できる可能性がある。

マダラの不妊化試験は、沖縄県でのウリミバエ根絶成功
にヒントを得た試験であった。マダラ雄蛹への軟X線照射
による不妊化の可能性が示唆された。軟X線の利用はX線
やγ線とは異なり、特別の施設や技術者を必要とせず、誰
でも簡単に操作できる利点がある。島嶼部等で不妊化した
雄を大量に長期間放虫するとマダラを根絶できる可能性は
ある。

マダラ発生消長調査は、マダラの羽化時期を知り効率的
な予防事業を実施するため今後も継続調査する必要がある。
マダラの羽化は気温等に大きく影響を受け、恒温飼育して
も有効積算温量は大きくばらつく（五十嵐 1977）ことから、
これら変動要因を解明して、羽化時期を事前に・より正確
に推定できる手法を開発する必要がある。

マダラ生息密度調査に利用した誘引剤は、カイロモンと
呼ばれる産卵誘引剤であり、後食後の成熟成虫しか誘引せ
ずその誘引効果も低いことが知られており（田端 1996）、
松の枯損予防やマダラ成虫の密度低下を期待するより、林
内での飛翔時期等を把握するために利用すべきと考えられ
た。

引用文献

- 堂園安生・橋本平一(1974)：マツ切枝(試片)の含水率と材線虫の増殖、日林九支研論27：165～166.
- 遠田暢男(1977)：マツノマダラカミキリに対する γ 線照射による不妊化(I)、日林論88：285～287.
- 遠田暢男(1992)：中国における天敵昆虫アリガタバチを利用した松くい虫の防除、森林防疫41：10～15.
- 福原敏彦(1979)：昆虫病理学、218pp、学会出版センター、東京.
- 五十嵐正俊(1977)：東北地方におけるマツノマダラカミキリの生態Ⅱ、林試東北支場年報18：126～133.
- 岸洋一(1988)：マツ材線虫病—松くい虫—精説、292pp、トーマス・カンパニー、東京.
- 森本桂・岩崎厚(1973)：マツノマダラカミキリに関する研究(Ⅳ)、日林九支研論26：199～200.
- 森本桂・真宮靖治(1977)：マツ属の材線虫病とその防除、65pp、わかりやすい林業研究解説シリーズ58、林業科学技術振興所、東京.
- 野淵輝(1993)：マツノマダラカミキリの天敵微生物防除を目的とした(林振式)天敵微生物付与装置、森林防疫42：9～13.
- 岡本安順(1997)：スギカミキリ・マツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチの寄生実験、森林応用研究 6：131～134.
- 岡本安順(投稿中)：マツノマダラカミキリに対するクロアリガタバチの寄生実験(Ⅱ)、森林応用研究 8.
- 岡山地方気象台(1996)：岡山県気象月報(平成8年9月～10月)、23pp、日本気象協会岡山支部、岡山.
- 奥谷禎一・河合博行(1988)：クロアリガタバチの生活史に関する知見、家屋害虫2、日本家屋害虫学会編、226～230、井上書院、東京.
- 田畑勝洋(1996)：松くい虫防除技術の研究開発について、森林防疫45：137～142.