寒冷地方におけるアカマツ枯損動態に関する研究

小島耕一郎
奥村俊介

要　旨

1）昭和56年7月，木曽郡山口村でマツ材線虫病による被害が初めて確認されてから，62年2月までの被害発生地域は18市町村に拡大した。主な被害は，標高でみると700 *m*以下にあり，年平均気温でみると10℃以上のところにある。

2）マツ材線虫病による被害は，年間を通じて発生しており，感染年に枯れる当年枯れは8月に現われるが，主なものは9月以降であり，年越し枯れは感染した翌年の3月から8月にみられ，なかには11月に現われるものもある。

3）マツノマダラカミキリの生活環は，マツ枯れの時期により異なり，8月中旬を境として，それ以前のものには1年1世代型の発生が多く，それ以降のものでは2年1世代型が多い。また発生量は6月から8月に枯れるものに多く，9月以降に枯れるものに少ない。

4）マツノマダラカミキリの発生期間は，6月中旬から9月上旬に及び，主なものは6月下旬から8月上旬で，その最盛期は7月中旬である。

5）マツノザイセンチュウの検出状況をみると，気温の高い時期に枯れたものでは検出数も多く，検出率も高いが，1月から3月に枯れたものでは検出数も少なく，検出率も低い。また材片を採取した部位の違いで，検出状況は異なり，検出数および検出率は，樹冠層上部の枯枝や幹の上部・中部で比較的大きく，幹の下部では小さい。

6）マツノザイセンチュウの検出数は褐変枯れで多く，黄褐変枯れで少ない傾向を示した。

7）マツノザイセンチュウを検出するさい，試料の加温処理は有効であり，検出率は倍増した。

8）マツノマダラカミキリ幼虫による穿入孔数に対する羽化脱出数の割合は6.0％～53.9％で，20％前後のものが多い。

9）材表面から蛹室上壁までの深さは2 *mm*～53*mm*で，20*mm*前後のものが多い。

10）成虫による脱出孔径の大きさは4 *mm*～9 *mm*で，6 *mm*前後のものが多い。

はじめに

寒冷地方特有のマツ枯損動態とこれに関与するマツ樹体内におけるマツノザイセンチュウ（以下線虫という）の寄生状況およびマツノマダラカミキリ（以下カミキリという）の生態などの諸問題が解明されない限り，寒冷地方における適確な防除は，実行困難な現状にある。

本研究では，これらの課題を解決し，これまで行われてきた温暖地方の研究成果と合わせて，寒冷地方におけるマツ枯損防止技術の体系化を図るため，昭和58年から60年の3か年間にわたって取りくんできた。

この研究は国立林業試験場東北支場の協力のもとに，青森・岩手・秋田・宮城・山形・福島・栃木・群馬・長野県および京都府の各林業試験指導機関の協同研究によるものである。

I　マツ材線虫病による被害の発生経過

1　被害の推移

昭和56年7月，木曽郡山口村でマツ材線虫病による被害が初めて確認されてから5か年が経過した。この間，防除は被害木を伐倒焼却およびメチブロンK_2 の燻蒸処理により行われてきたにもか

表－１　被害の発生地域

発生年次	市町村名
56　年	山口村
57	長野市・更埴市・南木曽町
58	高山村・小布施町・豊野町・飯田市
59	須坂市・上田市
60	坂城町・戸倉町・上山田町・中野市・山ノ内町
61	東部町・真田町・天竜村

かわらず，被害は飛び火状に漸増し，62年２月現在までの被害発生地域は，18市町村（６市９町３村）に及んでいる。被害の拡がりかたを年次別にみると表－１のとおりである。

2　被害と標高

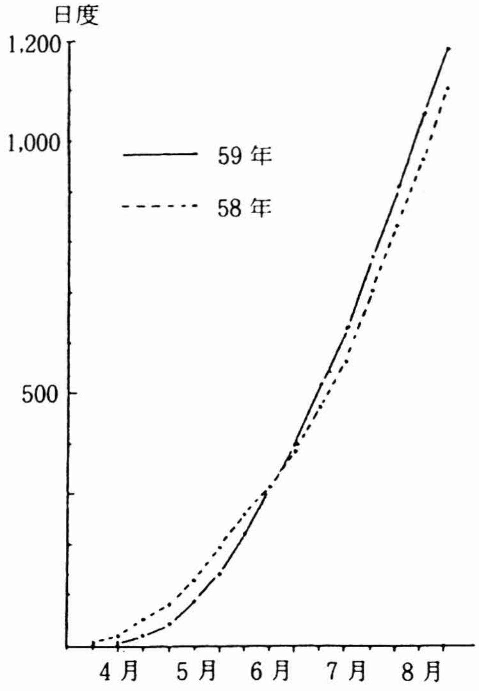
山口村に初めて被害が発生したとき，主な被害地の標高は410 *m*から640 *m*で，最も高いところでは900 *m*地点に及ぶものもあった。しかしその後の防除により，この900 *m*地点の被害はなくなった。これは風により高所へ運ばれたカミキリにより被害が発生したものの被害地の標高が高いこと，その後の繁殖条件が悪いこと，徹底した被害木の伐出および焼却を行ったことによるものと考えられる。これ以降，700 *m*以上の高冷地の被害は59年までみられなかったが，60年に飯田市の700 *m*地点（年平均気温11.6℃）[17]，61年に東部町の780 *m*地点（同10.2℃）[17]や真田町の750 *m*地点（同10.4℃）[17]で被害が発生してきた。

このように被害が700 *m*以上の高標高地で発生した原因の一つとして，その地域における年平均気温の高さが考えられる。これら３地点における年平均気温は，県内で最も高い12℃の等温線[16]に近接している。

被害発生地の標高の範囲を年次別にみると表－２のとおりである。

表－２　被害地と標高

発生年次	標高範囲
56　年	410 *m*　～　900 *m*
57	360　～　570
58	350　～　590
59	330　～　650
60	380　～　700
61	350　～　780



図－１　林業指導所の気象観測データから算出した有効積算温量

3　被害と年平均気温

被害は各関係地方事務所から送付された「森林病虫害等鑑定依頼書」の資料に基づいて，気温推定式[17]により算出したところ，年平均気温が10℃以上のところで発生している。

Ⅱ　アカマツの枯損時期とカミキリの生活環[13]

1　目　　的

県下で発生するマツ材線虫病によるマツ枯れは，感染した年に枯れる当年枯れに加えて，枯損が翌年に持ち越される年越し枯れの発生割合が多い[31,32,33]。年越し枯れのなかには枝・梢端部などの部分枯れ[22]で経過し，全体が枯れるまでにかなりの日数を要するものも顕在化しており，マツの枯れかたは温暖地方と比べて異なっている。年越し枯れ木へのカミキリの寄生は温暖地方では極めて少ないとされている[2,21]が，寒冷地方ではこのようなことは一概に言えないとされている[1,10]。これらの関係を明らかにするものである。

2　試験の方法

(1)　試料の採取場所と時期

試料の採取場所は長野市篠ノ井石川地籍(標高430 *m*～520 *m*)のアカマツ壮齢林分で，マツの枯損時期とカミキリの発生状況との関係を検討するため，57年から59年の3か年間にわたり，マツの枯損時期別に8種類(総本数49本)に分けて試料を採取した。

(2)　試料と調査観察場所

各試料木の幹部分はカミキリの寄生を確認したものについて，その部分を約1.5 *m*の長さに採材(以下丸太という)し，調査に供した。丸太は林業指導所構内(標高713 *m*)の林内に設けた屋外網室内に立てかけた。

(3)　カミキリの発生状況調査

発生数調査は，1日1回ずつ行い，その都度，成虫数と脱出孔数とを確認した。これは外界へ脱出したものの明るい場所に這い上がれない個体を採取するためである。

3　結果と考察

(1)　マツ材線虫病によるマツの枯れかた

温暖地方の激害型マツ枯れは，秋早くから針葉が急速にしおれて枯れるのが特徴とされてきた[14]が，県下では，このような感染した年に枯れるもの(当年枯れ)は全体の半数程度で，他のものは感染した翌年に枯れる(年越し枯れ)。

この当年および年越し枯れの発生割合は，夏期の気温に左右され，気温の高い年には翌年の年越し枯れは少なくなるようであり，マツ枯れは多様な経過をたどりながら年間を通じて発生してくる。そこで49本の試料木を次のように分けた。

ア　当年枯れ

当年枯れを小田[20]あるいは山根[28]により分けられた枯損季節タイプでみると，夏型全体は含まず，これは夏型の一部と夏・秋型に属するものと考えられる。温暖地方でその年に枯れる新しい被害木は大体7月ごろから夏型の被害として発生する[20]。これを長野市でみると，その年に感染・発病したものが枯損する時期は8月であり，1か月以上遅れている。

試料木49本中13本は当年枯れと判断した。これは7月から8月に枯れた6本中2本，8月から10月に枯れた6本中6本，9月から11月に枯れた6本中5本であり，これら13本の試料木にはカミキリの寄生が認められた。

イ　年越し枯れ

年越し枯れといっても，その症状は多様である。陳野[34]は年越し枯れを4型に分けた。49本中36本はこの4型の分類法にあてはまるので，この分けかたに枯損季節タイプ[20,28]の5型に分けられた分

類法を加えて検討した。

もっと枯損季節タイプのうち春型の発生率を枯損状況タイプ[20,28]の激害型（温暖地方でみられる枯損状況）でみると，10%以下となっている。この数値は年越し枯れの発生率に置き換えて考えられるが，この10%の値は県下で発生する年越し枯れの比率と比べると，かなり低い。

(ア) 一部の枝や梢端部が枯れた状態で越冬し，春以降に全体症状に移行すると考えられるもの（秋型に属するものと考えられる）この型は1月から3月に枯れた6本中5本であり，カミキリの寄生は5本中4本に認められた。

(イ) 秋から初冬までに発病（針葉は緑色で樹幹部のヤニの滲出の異常または停止状態を指す）したものが，翌春に外観上の症状を現わすもの（秋・春型に属するものと考えられる）この型は1月から3月に枯れた6本中1本，4月から5月に枯れた16本のすべてで，カミキリの寄生は17本中3本に認められた。

(ウ) 健康な状態で冬を越し春以降に発病して枯損するもの（春型に加えて夏型の一部が含まれるものと考えられる）この型をみると，当年枝は伸長しているものの，冬芽形成以前に枯れたものと冬芽形成以後に枯れたものとの2種類に分かれる。

・冬芽形成以前に枯れたもの　　この型は6月から7月に枯れた6本中2本，7月から8月に枯れた6本中4本で，カミキリの寄生は6本の試料木のすべてに認められた。

・冬芽形成以後に枯れたもの　　この型は6月から7月に枯れた6本中4本で，カミキリの寄生は4本の試料木のすべてに認められた。

この4本を冬芽の形成が有るにもかかわらず年越し枯れと判断した理由は次のとおりである。

・冬芽形成付近に着生している針葉は，生長途上の段階で生長を停止し枯れている。

・長野県下のカミキリの初発日は，林務部治山課で行っている屋外飼育施設でみても，早いところで6月14日である。

・線虫のカミキリからの離脱経過は，最も早い事例でも，羽化脱出後1週間までに最高となる[9]とされているため，マツ生枝に後食が行われ，線虫の感染により発病・枯損に発展したとしてもマツ枯れの時期が早すぎる。

なお，57年10月に枯れた3本の試料木は，冬芽の形成状況を調べなかったが，カミキリの生活環からみると1年1世代型の発生割合が多く，(ウ)のグループ（図－7）に類似（発生量も多い）しているため，このグループにあてはめた。

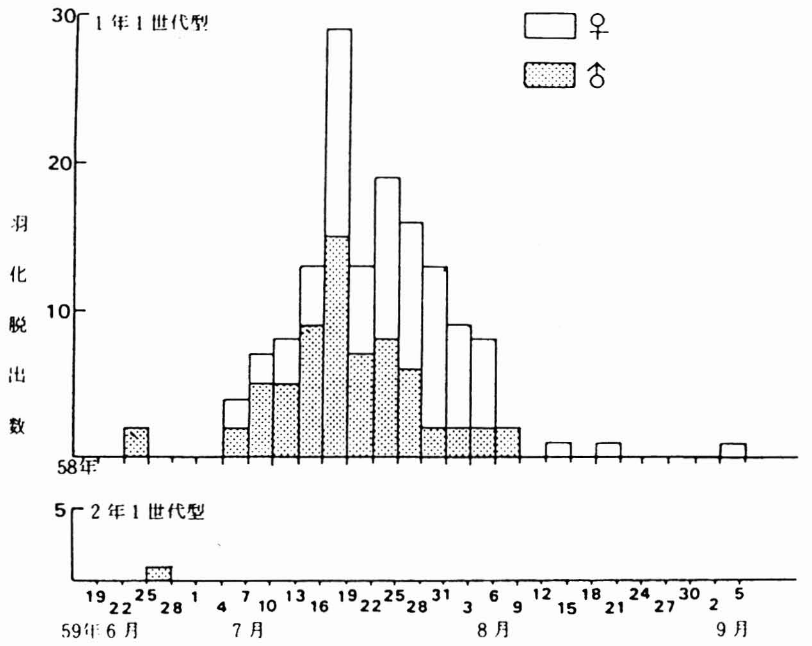
(エ) 翌年の夏～秋まで枯れ症状が持ち込まれるもの（夏・秋型に属するものと考えられる）この型の被害木は当年枯れと見あやまる可能性もある。9月から11月に枯れた6本中1本は冬芽の形成が認められなかったので，このグループにあてはめた。

このように年越し枯れを枯損季節タイプにあてはめたところ，年越し枯れには5型に分けられた分類法の全ての型が存在することが明らかになった。年越し枯れが多くなるのは，カミキリの初発が温暖地方と比べて遅いため，線虫がマツに感染できる時期にも遅れが生じ，樹体内での増殖可能な期間が短かくなったためと考えられる。

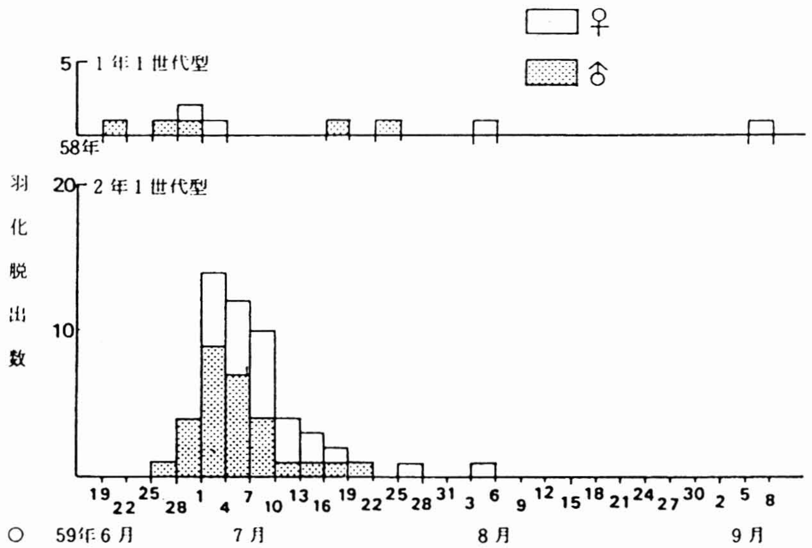
(2) カミキリの羽化脱出経過

58年から60年の3か年間にわたり，羽化脱出してきたカミキリは総数で559頭であり，羽化脱出は6月19日に初まり，9月5日に終った。主な発生期間は6月下旬から8月上旬で，その最盛期は7月中旬であった（表－3）。

試料の種類別発生状況をみると，初発日は6月19日から7月13日，終日は7月13日から9月5日



図－２　57年10月試料木からの羽化脱出経過　（58年１月下旬採取）

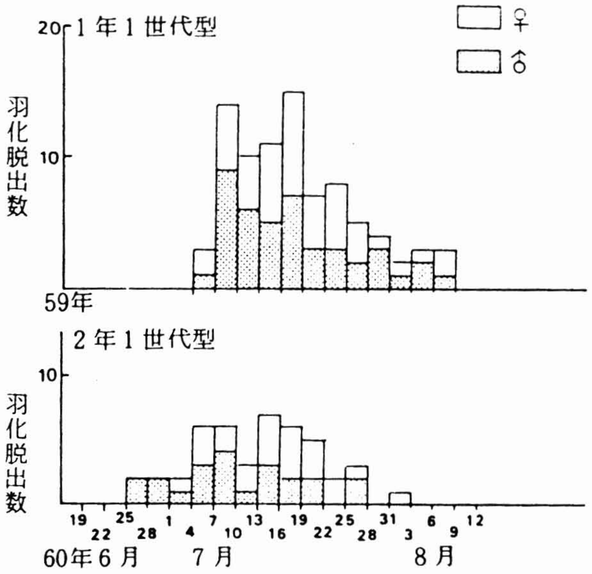


図－３　58年４～５月試料木からの羽化脱出経過　（58年６月９日採取）

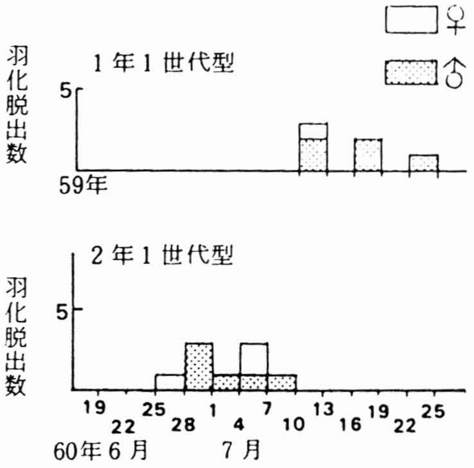
で，羽化脱出状況にはかなり大きな幅がみられた。これはマツの枯損時期の違いに基づく産卵時期の違いに加えて春からの気温が影響したものと考えられる。そこで58年と59年におけるカミキリの羽化脱出状況と有効発育積算温量（発育零点は11.5℃で算出）との関係を調べたところ次の結果が得られた。

58年の場合，発生期間は２か月半に及び，初発日は６月19日（313日度），最多羽化脱出日は７月16日（530日度），終日は９月５日であった。59年の発生期間は１か月半で，初発日は６月25日（359日度），最多羽化脱出日は７月17日（596日度）であった。

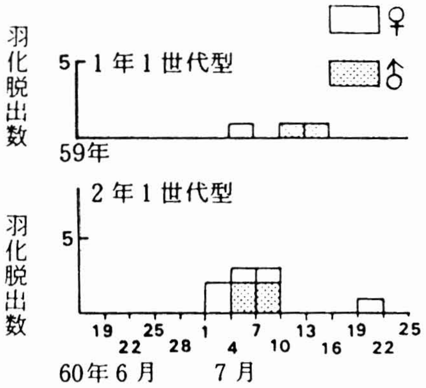
59年の気温は58年に比べて５月上旬まで低温が続き，５月中旬に急上昇した（図－１）。これを58年と比べると２～３℃高めの日が続いた。[18]このため有効発育積算温量は，58年では安定した増加



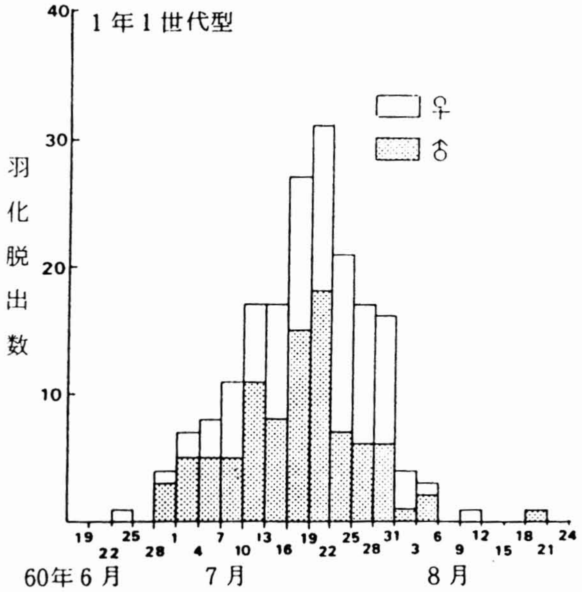
図－4　58年7～8月試料木からの羽化脱出経過　（58年9月5日採取）



図－5　58年9～11月試料木からの羽化脱出経過　（58年11月29日採取）

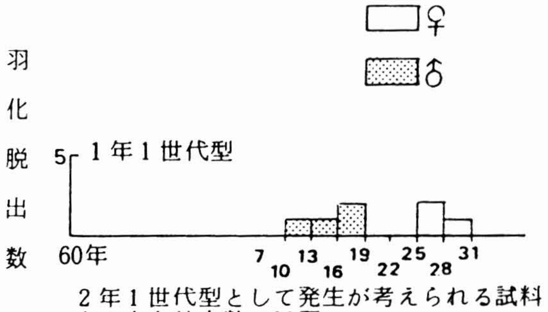


図－6　59年1～3月試料木からの羽化脱出経過　（59年4月17日採取）



2年1世代型として発生が考えられる試料中の生息幼虫数は4頭

図－7　59年6～7月試料木からの羽化脱出経過　（59年8月23日採取）



2年1世代型として発生が考えられる試料中の生息幼虫数は33頭

図－8　59年8～10月試料木からの羽化脱出経過　（59年12月12日採取）

表－3　マツノマダラカミキリ成虫の羽化・脱出経過

区分 / 枯損時期	1年1世代型			2年1世代型		
	発生期間	最多羽化脱出日	脱出頭数	発生期間	最多羽化脱出日	脱出頭数
			頭／m²			頭／m²
57. 10月	58. 6. 22 ～ 8. 31	7. 16	31. 4	59. 6. 25 ～	※	0. 2
58. 4月～ 5月	58. 6. 19 ～ 9. 5	※	1. 4	59. 6. 26 ～ 8. 2	7. 2 ～ 3	8. 4
58. 7月～ 8月	59. 7. 4 ～ 8. 8	7. 16 ～ 18	7. 4	60. 6. 26 ～ 8. 1	7. 10 ～ 15	3. 9
58. 9月～11月	59. 7. 6 ～ 7. 13	※	0. 4	60. 7. 3 ～ 7. 20	※	1. 1
59. 1月～ 3月	59. 7. 10 ～ 7. 24	※	1. 0	60. 6. 26 ～ 7. 8	※	1. 6
59. 4月～ 5月	−	−	−	−	−	−
59. 6月～ 7月	60. 6. 24 ～ 8. 19	7. 19 ～ 20	14. 0	材内生息幼虫数	4 頭	(0. 3)
59. 8月～10月	60. 7. 13 ～ 7. 27	※	1. 0	〃	33 頭	(4. 6)

㊟　※は脱出頭数も少なく，ピークが得られなかった。

傾向を示したのに対し，59年は5月上旬までは増加がきわめて緩慢で，5月中旬以降，急激に増加している。この結果，有効発育積算温量が300日度に達した時期は，58年・59年ともに6月中旬となった。59年の6月下旬以降の気温は，58年より高めに推移した。このことから59年の初発日は5月中の低温の影響をうけて遅れたものの，その後の気温の上昇によりカミキリの発育が促され，最多羽化脱出日は58年とほぼ同じになった。

(3)　マツの枯損時期とカミキリの生活環[13)]

マツの枯れる時期がカミキリの生活環に及ぼす影響をみると，6月から8月に枯れるものの多くは年越し枯れに含まれ，これには1年1世代型の発生割合が多い。年越し枯れおよびカミキリの2年1世代型は関東以西でも標高の高い地域でみられ[29)]，たしかに2年1世代型で経過する個体は温暖地方に比べて増えており[31,32,33)]，1年1世代型と2年1世代型との発生割合は，温暖地方と異なる寒冷地方特有なパターンがみられる。

線虫の感染により，早期に発病した枯損木はその年に発生してくるカミキリの産卵対象木になり得るが，感染から発病にいたる経過が緩慢で，翌年の夏に枯れるものは，感染した年の翌年に発生してくるカミキリの産卵対象木になり得ることが明らかになった。これは温暖地方ではみられない現象である。また当年枯れは8月中旬以降に枯れるものにみられるが，年越し枯れと比べてカミキリの寄生数は少ない(図－5)傾向を示した。これらのことからマツの枯損時期の違いに基づくカミキリの生活環は，次の3種類に分けて考察した。

ア　1年1世代型の多いグループ　　これは図－2，7に示した。

イ　2年1世代型の多いグループ　　これは図－3に示した。図－8に示したものは羽化脱出が完了していないが，幼虫が蛹室内に生息しているため，このグループに加えた。

ウ　1年1世代型と2年1世代型との混在するグループ　　これは図－4，5，6に示した。

2年1世代型の発生割合が寒冷地方および内陸部に多い[19)]ことはすでに指摘されており，2年1世代型の出現に関与する要因の一つとして産卵時期の遅れが知られている。これまでの事例でみると，茨城県では9月以降[10)]，岩手県では8月中旬以降[3,27)]，秋田県では9月上旬以降[5)]に産卵されたものは全て2年1世代型となっている。

長野県の場合，2年1世代型が現われる条件は図－4，7に示した試料木の採取時期から判断す

ると，8月23日の試料ではすでに2年1世代型の幼虫が2％生息していたので，1年1世代型と2年1世代型との割合が逆転する時期は8月中旬にあるものと考えられる。これは岩手県の事例と類似している。

(4) マツの枯損時期とカミキリ以外の穿孔虫類の寄生

カミキリ以外の穿孔虫類の寄生は，試料木49本中15本にみられた。すなわち，1月から3月に枯れた6本中2本，4月から5月に枯れた16本中13本がこれに属した。

これらの試料木はカミキリの産卵終期以降に発病したため，カミキリによる産卵対象木とはなり得ず，成虫で越冬し春になって産卵する習性のあるマツノコキクイムシ・マツキボシゾウムシ・マツノキクイムシ(優占順位で示した)が優占種として寄生していた。すなわちこれらの穿孔虫類により幹の樹皮下がほとんど摂食されたため，その後カミキリが産卵したとしても，その幼虫は十分な摂食を行えず，正常な発育ができないほどであった。この寄生状況は幹のみを対象に調べたものである。

Ⅲ カミキリの材内における寄生状況調査

1 目　　的

カミキリの材内における寄生状況を本県のような寒冷地方で調査した事例は少ないため，その死亡原因，羽化脱出率，単位面積あたり寄生密度などを明らかにしようとするものである。

2 試験の方法

調査は2年1世代型成虫が羽化脱出した丸太について行ったが，59年8月および12月に伐倒した試料木から採取した丸太の調査は60年12月に行った。この場合の総頭数は1年1世代型として羽化脱出した頭数に材内に生息していた幼虫数(2年1世代型として翌年発生してくるはずのもの)を加えたものである。

3 結果と考察

(1) カミキリの虫態別死亡(捕食を含む)原因調査

死亡原因調査は卵期での死亡，樹皮下幼虫期の死亡，材内穿入から羽化脱出までの死亡などに分けて行われているが，この調査では樹皮下幼虫が穿入孔を穿った個数(1,997個，このうち蛹室内の生息幼虫数は37頭)に基づいて行い，次の結果を得た。

ア 穿入孔のみで幼虫の生息が認められなかったものは4.3％～14.5％(215個)であった。

イ 未完成の蛹室(室の形に膨らみのないもの)を形成したものの幼虫の生息が認められないものは8.0％～39.4％(508個)であった。

ウ 蛹室を形成したのちの死亡状況

(ｱ) 幼虫で死亡　　0.3％～1.8％(14頭)

(ｲ) 蛹で死亡　　0.2％～1.5％(7頭)

(ｳ) 成虫で死亡　　1.2％～6.4％(80頭)

(ｴ) 蛹室内が中空のものは16.2％～43.0％(577個)で，このうち白いカビが蛹室内に認められたものは0％～8.9％(79個)，寄生蜂のマユが認められたものは0％～1.7％(10個)，キツツキ類により捕食されたものは0％～10.2％(59個)であった。

エ 成虫の脱出孔がある蛹室

(ｱ) 正常なもの　　4.3％～48.1％(518個)

(ｲ) 蛹室内に寄生蜂のマユがあるもの　　0.2％(1個)

(ウ) 蛹室内に黒いカビのあるもの　　　0％～1.2％（８個）

(エ) 蛹室内に白いカビのあるもの　　　0％～4.6％（32個）

なお，カミキリムシ類を捕食する鳥類は33種が記載されており，これら大部分の鳥類は成虫を捕食している。このうちキツツキ類は幼虫を捕食することが知られている[4,7,30]。今回の調査による捕食状況は表－４に示すように，かなり高い頻度で蛹室に穴が穿たれ，材内生息幼虫が捕食されていた。

本県に生息するキツツキ類はアオゲラ，アカゲラ，コゲラ，オオアカゲラ[25]で，これらの種類はいずれもカミキリムシ類幼虫を捕食するものとされている。[30]

(2) 穿入孔数と羽化脱出数との関係

羽化脱出率は6.0％～53.9％（表－５）であった。また試料木の種類とカミキリの発生数との関係をみると，発生数は気温の高い時期に枯れたものに多い（表－４）。これは茨城県の調査事例（6月～11月の枯損木に多く，１月～５月の枯損木に少ない）と一致した。[8,10]

表－４　マツノマダラカミキリの天敵としてのキツツキ類による捕食状況

マツの枯損時期	伐倒時期	供試材の材表面積	マツノマダラカミキリの脱出頭数／㎡	キツツキ類による幼虫の捕食頭数／㎡
		㎡	頭／㎡	頭／㎡
57年10月～	58年１月下旬	4.646	31.6	8.16
58年４月～５月	58年６月９日	6.360	9.8	1.57
58年７月～８月	58年９月５日	11.528	11.3	0
58年９月～11月	58年11月29日	8.003	1.5	1.62
59年１月～３月	59年４月17日	5.826	2.6	0.34
59年４月～５月	59年６月21日	10.560	0	－
59年６月～７月	59年８月23日	13.274	14.0	0.12
59年８月～10月	59年12月12日	7.116	1.0	0

表－５　材表面積１㎡あたりの穿入孔数および蛹室数とマツノマダラカミキリの羽化脱出数

区分 / 試料木の種類（枯損時期）	穿入孔のみ形成	蛹室の形成状況 未完成	蛹室の形成状況 完成	成虫の脱出孔がある蛹室の個数	生息幼虫がみられた蛹室の個数	計
58・1・下旬 （57年10月～　）	11.62 （11.2）	8.18 （8.0）	52.30 （50.4）	31.64 （30.4）	—	103.74 （100）
58・6・9 （58年４月～５月）	3.46 （8.1）	11.32 （26.7）	17.92 （42.2）	9.75 （23.0）	—	42.45 （100）
58・9・5 （58年７月～８月）	7.20 （14.5）	19.51 （39.4）	11.54 （23.3）	11.28 （22.8）	—	49.53 （100）
58・11・29 （58年９月～11月）	1.75 （10.9）	5.12 （32.0）	7.62 （47.7）	1.50 （9.4）	—	15.99 （100）
59・4・17 （59年１月～３月）	1.37 （9.4）	5.32 （36.5）	5.32 （36.5）	2.57 （17.6）	—	14.58 （100）
59・8・23 （59年６月～７月）	2.18 （8.4）	4.60 （17.7）	4.90 （18.8）	14.01 （53.9）	0.30 （1.2）	25.99 （100）
59・12・12 （59年８月～10月）	0.70 （4.3）	5.62 （34.5）	4.36 （26.8）	0.98 （6.0）	4.64 （28.4）	16.30 （100）

(3)　カミキリの材内寄生密度

密度が高くなるにつれて産卵痕の分布は集中分布から一様分布に変化する。これは当初の産卵が好適な場所に集中していたものが，成虫が既産卵痕を認識して（その範囲は10㎝×10㎝程度に１個），互い避け合うように産卵するものとされ，[12] したがって野外条件下では，飽和密度に達する前に他の産卵対象木を求めて移動するものと考えられている。[26]

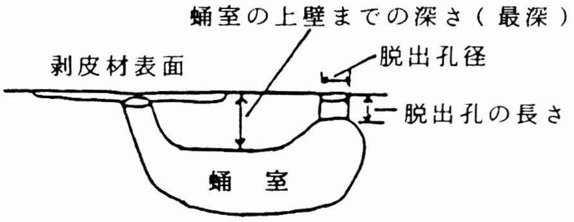
材表面積１㎡あたり103.74個の穿入孔数（表－５）は，上記の事例からみても極めて高い密度といえる。しかもこの数値は卵およびふ化幼虫が穿入孔を穿つまでの期間に死亡した個体数を含んでいない。この密度における羽化脱出率は30.4％であった。このように高い密度になった理由として，次のことが考えられる。

被害が発見された当初，被害木にはカミキリによる脱出孔がみられたので，被害は２～３年前から発生していたものと推察できる。また被害発見以前における防除は行われていないこと，被害量が少なかったため，カミキリによる産卵は，かなり限られた枯損木に対して集中的に行われていたことが考えられる。

(4)　蛹室の材表面からの深さと脱出孔の大きさ

材内に蛹室が形成される位置は，岸ら[11] によると温暖地方では浅く，比較的寒冷な地域では深いが，単木内でもかなりの変異があるとされ，蛹室の深さは単に気温のみでなく，材の含水率や樹皮厚，材質など他の要因の影響もうけているようである。

蛹室の深さは表－６に示した。これによれと材表面から蛹室上壁までの深さ（測定方法は図－９に示した）は最小が２㎜～10㎜，最大が30㎜～50㎜で，20㎜前後のものが多かった。脱出孔径は温暖地方では６㎜～10㎜で大きいが，[15] 今回の調査結果（表－７）では概して小さく，６㎜前後のものが多かった。このように小さな脱出孔が穿たれた理由の一つとして，丸太を立てかけた屋外網室の標高が考えられる。この高さは県下の被害発生地域の上限付近であるため，この環境条件が幼虫の発育に影響を及ぼしたものと考えられる。



図－９　蛹室周辺の測定位置

表－６　材内における蛹室の位置

区　分 ＼ 供試木の種類	材表面（剥皮）から蛹室（完成したもの）の上壁までの深さ			
	個 数	最 小	最 大	平　　均
	個	㎜	㎜	㎜
58・１・下旬	390	7	30	17.44 ± 4.64
58・６・９	176	4	53	21.27 ± 7.94
58・９・５	263	2	47	20.68 ± 7.52
58・11・29	73	10	45	21.26 ± 7.07
59・４・17	46	6	50	21.45 ± 8.91
59・８・23	251	2	40	16.72 ± 6.16
59・12・12	70	4	48	20.52 ± 9.02

表－7　成虫の脱出孔の形状

供試木の種類＼区分	脱出孔の大きさ							
	脱出孔径				脱出孔の長さ(剥皮材表面から蛹室まで)			
	個数	最小	最大	平均	個数	最小	最大	平均
	個	mm	mm	mm	個	mm	mm	mm
58・1・下旬	147	5＊	8	5.92±0.84	147	1	15	6.97±2.78
58・6・9	62	5	8	6.30±0.73	62	2	20	8.40±3.89
58・9・5	130	4	8	6.03±0.90	130	2	25	7.37±3.88
58・11・29	12	5	9	6.33±1.17	12	3	23	7.83±5.53
59・4・17	15	5	7	5.66±0.59	15	2	15	4.93±3.54
59・8・23	186	4	8	6.31±0.84	186	1	19	5.59±2.82
59・12・12	7	4	7	5.42±1.17	7	2	6	4.14±1.45

注)＊印は5mmとなっているが，このうち1個だけ蛹室内に寄生蜂のマユがあった個体が穿ったものがあり，この脱出孔径は4mmであった。

Ⅳ　試料木における線虫の寄生状況調査

1　目　　的

線虫の検出率は温暖地方で高く，寒冷地方で低い傾向がみられる。またマツはマツ材線虫病以外の原因でも枯れる。しかしマツ材線虫病により枯れたものとの分けかたは，線虫検出の有無にかかわっている。林業指導所では，各地方事務所から送付される試料を処理し，線虫の有無をもって被害木の早期発見に努めているが，検出率は試料を採取する部位の違いで異なり，極めて低いこともある。これは防除対策上の支障ともなっているので，これらの問題を解決し，効果的な防除対策を推進させるための資料とするものである。

2　試験の方法

(1)　試料の採取場所と時期

試料はⅢ－2－(1)で示した場所から7種類46本を採取し，調査は58年から59年の2か年にわたって行った。

(2)　材片の採取部位

マツ樹体内における線虫の寄生状況を知るため，材片を次の5種類の部位に分けた。

ア　枯枝　　カミキリにより後食が行われた樹冠層上部の枯枝

イ　上部　　梢端から1m～2m下部の幹

ウ　中部　　幹の中央部

エ　下部　　地際から1.2mの樹幹部で，これは南側と北側の2方向の部位に分けた。

(3)　材片の採取方法

細かい材片は乾燥しやすく線虫の検出状況に影響を及ぼすため，幹部分は厚めの円板，枝部分は長めに切り試料とした。線虫分離に供した材片はこれらの試料から18mm刃をつけた電気ドリルで10gずつを採取した。

(4)　線虫類の検出方法

線虫類の検出はベールマン法により行い，試料を25℃の恒温室内で保温し，遊出してくる線虫類がみられなくなるまで抽出をくり返し行った。遊出した線虫類をシラキューズ時計皿上に移し，実

体顕微鏡下で総個体数を計数した。このうち5%〜10%の線虫類をスライドグラス上に移し検鏡を行った。遊出個体数が少ないときは，全数調査を行った。

検鏡にあたっては線虫(♂・♀)，尾端部に丸味のあるもの(このなかには線虫幼虫が含まれていると考えられたが，線虫としては計数しなかった)，尾端部が尖っているもの，その他に分け各グループ別個体数を把握した。線虫の総個体数は，サンプリングにより得られたグループ別個体数の割合に総個体数を乗じて求めた。

また線虫分離に供した材片は105℃で24時間乾燥後に，その絶乾重量を求めた。

3 結果と考察

(1) 線虫(成虫)の部位別検出状況

材片10gから分離された線虫の個体数は，絶乾重量1gあたりに換算して表－8に示した。これによると，当年枯れ，年越し枯れともに気温の高い時期のものは検出数も比較的多く，検出率も高いが，年越し枯れのなかでも1月から3月に枯れたものは検出数も少なく，検出率も低かった。また材片を採取した部位の違いにより，検出状況には差異がみられ，検出数および検出率は枯枝や上部・中部で比較的高かったが，下部では低い傾向が認められた。

関係地方事務所から送付された試料は線虫の有無により被害の早期発見に努めている。この業務

表－8 材片1g(絶乾重)あたりマツノザイセンチュウ成虫の検出頭数および検出率

区分 / 枯損時期(試料採取月日)	試料本数	試料採取部位					
		枯枝			上部		
		密度		検出率	密度		検出率
		平均	標準偏差		平均	標準偏差	
4月〜5月(58. 6. 9)	9本	118.3頭	97.8頭	100%	154.7頭	176.2頭	78%
7月〜8月(58. 9. 5)	6	41.4	30.5	100	99.3	138.6	100
9月〜11月(58.11.29)	6	81.8	89.1	83	44.2	39.4	100
1月〜3月(59. 4.17)	6	1.5	2.2	67	7.0	11.4	50
4月〜5月(59. 6.21)	6	18.7	23.8	83	32.1	56.8	67
7月〜8月(59. 8.23)	6	11.3	15.3	67	59.2	47.3	67.
9月〜11月(59.12.12)	6	123.3	184.0	83	74.2	80.0	83

試料採取部位								
中部			下部・南			下部・北		
密度		検出率	密度		検出率	密度		検出率
平均	標準偏差		平均	標準偏差		平均	標準偏差	
160.2頭	210.8頭	100%	138.7頭	317.6頭	44%	40.0頭	81.4頭	44%
106.4	123.1	83	58.6	123.7	50	116.9	121.9	67
4.4	4.7	83	5.4	6.2	100	10.4	15.2	83
11.0	22.6	50	1.0	1.3	67	2.0	1.2	83
63.4	74.9	83	20.0	37.8	50	–	–	–
81.1	117.8	50	8.0	16.6	50	39.1	85.0	33
83.2	107.7	83	26.8	29.3	83	12.2	9.7	83

においても検出率は採取された部位により大きな違いが認められ，材片の採取部位が不適当であると，被害の早期発見を遅らせる原因となる。樹幹下部の検出率が中部より低いことは岩手県の調査結果[24]と一致した。

発病後の時間経過に伴う線虫の個体数の変動は真宮ら，[14]農林水産技術会議研究成果[19]により次のように報じられている。これは温暖地方（千葉県）で行われた調査結果である。

樹脂滲出異常が現われた直後では線虫はほとんど検出されない。発病後ほぼ1～2か月の経過で線虫個体数の増加はピークに達し，樹体内のどの部分からも高い密度で検出されるようになる。これは針葉の変色がすすんで，はっきりした枯死にいたる頃である。

以上の調査結果からみると，県下での検出状況は温暖地方のそれと比べてかなり異っている。また46本中2本の試料木は，マツ材線虫病により枯れたものに類似していたが，線虫はいずれの部位からも検出されなかった。したがってこの枯損木がマツ材線虫病以外の原因によるものか，線虫が樹体内に偏在寄生しているためなのか，これは今後の検討課題である。次に線虫が偏在寄生していた事例を紹介する。

61年6月，東部町大字和(かなえ)字姫子沢地籍（標高780 *m*）で褐変したアカマツ（樹齢45年，樹高16.3 *m*，枝下高5.7 *m*）から試料を採取（幹は2 *m*間隔で8か所，枝は17本）し，これらの部位別寄生状況を調べた。この結果，線虫が検出された箇所は3か所（幹では梢端近くの15 *m*で1か所，枝では樹幹高11 *m*と13 *m*の2か所）であった。

(2)　マツの枯損症状と線虫の検出状況

試料木の採取時期における針葉の変徴と線虫の検出数（表－8）との関係を表－9に示した。これによると線虫の検出数は褐変枯れで多く，黄褐変枯れで少ない。また褐変症状のものから検出された頭数を枯損時期別にみると，低温の時期よりも高温の時期のもので多かった。褐変葉が着手している枯損木と全葉が脱落した枯損木との線虫検出率は，岩手県下の調査[23]によると前者で高かった。したがって寒冷地方で線虫が比較的安定して検出できる条件は，針葉が褐変した頃で，これは温暖

表－9　マツ枯損症状とマツノザイセンチュウ成虫の検出状況

区分／枯損時期	マツ枯損症状	検出箇所数	材片採取部位別頭数（平均値）					合　計
			枯　枝	上	中	下・南	下・北	
58. 4～5月	全体枯れ・褐変	6	149.5	77.9	67.2	36.4	16.8	347.8
	〃　・黄褐変	1	77.4	25.6	72.7	0	0	175.7
	その他	2	45.3	449.7	482.9	514.7	129.4	1,622.0
58. 7～8月	全体枯れ・褐変	5	29.3	115.0	61.1	3.3	77.5	286.2
	その他	1	101.6	21.0	332.9	335.0	309.4	1,099.9
58. 9～11月	全体枯れ・褐変	4	114.1	35.0	6.0	6.5	12.6	174.2
	〃　・黄褐変	1	0	5.0	1.7	0.8	1.9	9.4
	その他	1	34.7	120.3	0.7	3.2	2.7	161.6
59. 1～3月	全体枯れ・褐変	4	1.9	10.5	2.6	1.4	2.2	18.6
	その他	2	0.8	0	0	0.4	1.5	2.7
59. 4～5月	全体枯れ・褐変	4	20.9	43.6	78.9	0.7	0.4	144.5
	〃　・黄褐変	1	8.8	0.9	55.2	0	0	64.9
	その他	2	9.8	8.5	4.8	29.5	22.6	75.2
59. 6～7月	全体枯れ・褐変	3	8.6	78.8	162.2	15.0	78.2	342.8
	〃　・黄褐変	1	0	0	0	1.4	0	1.4
	その他	2	21.1	59.4	0	0.8	0	81.3
59. 8～10月	全体枯れ・褐変	6	123.3	74.2	83.2	26.8	12.2	319.7

地方の調査結果と一致した。[14,19]

Ⅴ　加温処理による線虫の検出状況調査

1　目　　的

この調査は線虫の検出率を高め，防除対策を効果的に推進させるための資料とするものである。

2　試験の方法

(1)　試料の採取時期と場所

61年2月27日～28日，試料は上田市(標高550 *m*～620 *m*)で発生した年越し枯れ枯損木から採取した(表－10)。

表－10　試　料　木　と　そ　の　症　状

区分 / 試料木No.	試料採取場所	試料木				針葉の色	マツノマダラカミキリの寄生状況
		樹齢	樹高	胸高直径	枝下高		
1	上田市大字上田字詰小場　(標高550 *m*)	36	16.5	14.5	7.2	褐変	主幹上部および枝に寄生
2	上田市大字上塩尻(座魔神社)(標高550 *m*)	180	16.5	46.5	9.8	上部は緑色多く，下部は褐変しはじめていた。	無
3	上田市大字大久保　(標高620 *m*)	42	13.7	26.0	3.5	上部は褐変，下部では黄褐変したものが若干みられた。	主幹上部および枝に寄生
4	〃	39	13.5	21.0	6.2	全体として緑色があせている。	無

(2)　材片の採取方法

材片はⅣ－2－(3)で述べた方法により採取した。材片の採取量は内径11 *cm*のロートに入る程度(生重約25 *g*)とした。

(3)　調査方法

試料は次の2通りに分けて取りあつかった。

ア　無処理　　処理は3月4日に行い，線虫類の個体数調査は処理2日後(この間25℃の恒温器で保温)に行った。

表－11　ザイセンチュウ検出密度と標示記号

区分 / 実体顕微鏡16倍一視野あたり個体数	第1回調査(無処理)	第2回調査(加温処理)
多　(100頭以上)	●	■
中　(10～100頭)	◒	◪
小　(10頭以下)	⊕	⊠
無	○	□

イ　加温処理　　3月4日から3月19日までの16日間，25℃の恒温器に入れて加温した試料(乾燥を防ぐためビニールで被覆)から採取した材片を処理し，線虫類の個体数調査はアと同様に行った。

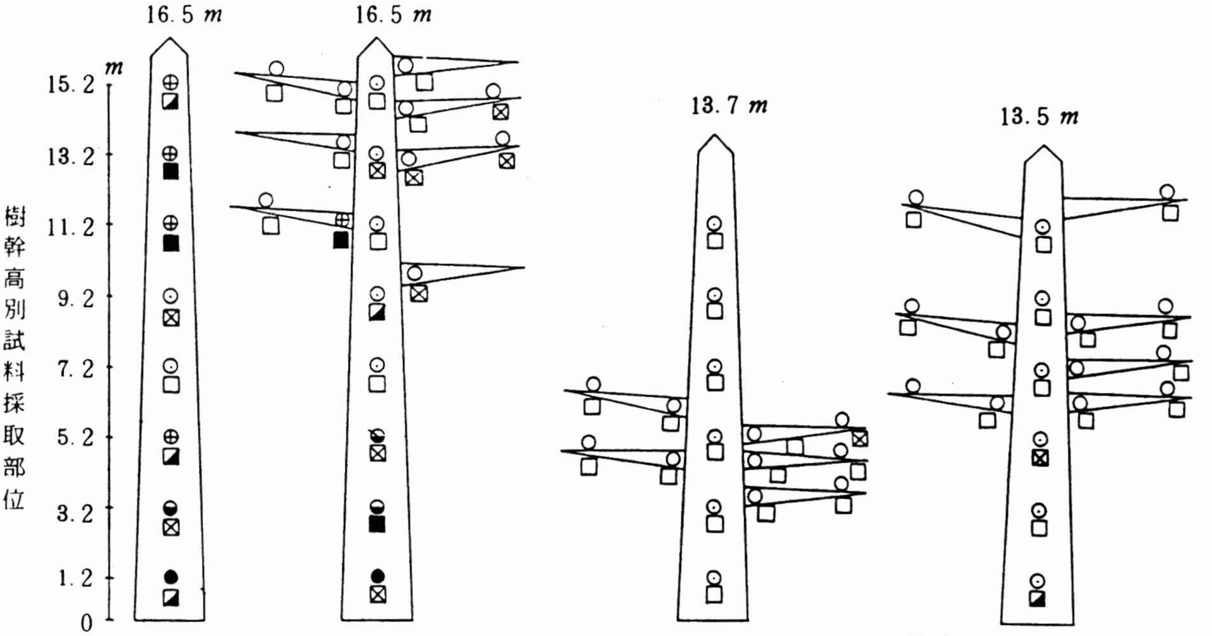
(4)　線虫の検出数とその標示方法

検出された線虫類の総個体数は，実体顕微鏡16倍目盛の一視野で，シラキューズ時計皿上に確認された頭数で現わした。総個体数の一部はスライドグラス上に移し，Ⅳ－2－(4)で述べた方法により線虫の個体数を求め，この個体数は表－11に示した標示記号に置き換えて概数で示した。

3　結果と考察

加温処理により線虫の増殖を促したのちに材片を線虫分離に供する方法は，マツ材線虫病による被害が寒冷地方へ拡大した段階で線虫を効果的に検出するための一つの方法として考案されたものである。[23]

加温処理による線虫の検出状況は図－10に示すように，検出された箇所数は無処理では61か所中



図−10　加温処理によるマツノザイセンチュウの検出状況

10か所（16.4％）であったが，加温処理では59か所中20か所（33.9％）に倍増していた。また試料木№３と４は，無処理では線虫の検出はなかったが，加温処理では№３から１か所，№４から２か所検出され，試料の加温処理による効果が認められた。しかし№４での線虫の検出箇所は幹の下部であり，幹の上部や樹冠層内の枝からは検出されなかった。

これは一つには線虫が特定の部分に偏在寄生していたためと考えられる。他の一つとして試料木№４は外観的な病徴（表−10）——（Ⅳ−３−(2)参照）——からみて発病後の期間が短かく，線虫が増殖途上にあり，個体数がピークに達していなかったためとも考えられるが，今回の調査では上記のいづれの原因か，あるいは２つの原因が重なったためかという課題は明らかにできなかった。

引用文献

1）在原登志男ら：福島県におけるマツの枯損動態に関する研究(Ⅱ)95回日林論　465〜466，1984

2）藤下章男：松くい虫枯損木の駆除技術に関する二，三の考察(1)　森林防疫(11)，197〜202，1984

3）五十嵐正俊ら：マツ類の穿孔虫防除　林試東北支年報17，67〜69，1976

4）五十嵐正俊：キツツキ類によるマツノマダラカミキリ越冬幼虫の捕食　91回日林論，363〜364，1980

5）岩崎　厚ら：マツノマダラカミキリに関する研究（XXI）　日林九支研論29，201〜202，1976

6）加茂谷常雄：秋田県におけるマツノマダラカミキリ　日林東北支誌32，203〜205，1980

7）加茂谷常雄ら：秋田県におけるマツノマダラカミキリの分布とそのアカゲラによる捕食　森林防疫32(2)，28〜32，1983

8）岸　洋一：マツノザイセンチュウ分布北限地域におけるマツ枯損時期とマツノマダラカミキリ発生数　88回日林論，291〜292，1977

9）————：マツノザイセンチュウのマツノマダラカミキリからマツ樹体への侵入経過　日林誌60(5)，179〜182，1978

10）————：茨城県におけるマツノザイセンチュウによるマツ枯損防除に関する研究　茨城林試研報11，1〜83，1980

11) ————ら：マツノマダラカミキリ蛹室の深さの変更　日本誌64(6), 239 ～ 241 , 1982
12) 小林富士雄：森林害虫の密度および分布の調査法に関する研究 (第 1 報)　林試研報 274 , 85 ～ 124 , 1975
13) 小島耕一郎ら：アカマツの枯損時期とマツノマダラカミキリの発生状況　35回日林中支論, 201 ～ 204 , 1987
14) 真宮靖治ら：マツノザイセンチュウによるアカマツの自然感染，発病の経過　84回日林講, 332 ～ 334 , 1973
15) 松枯れ問題研究会：松が枯れてゆく, 215 pp, 1981
16) 長野測候所：長野県気象累年報 (1889年～1952), 1953
17) 長野県企業局：開発地域気象調査書 − 気温 −, 1971
18) 日本気象協会長野支部：長野県気象月報34(5), 1984
19) 農林水産技術会議：農林水産技術会議事務局研究成果96, 156 pp, 1977
20) 小田久五：まつくいむし　林業新技術33選 (全国林業改良普及協会), 415 ～ 438 , 1970
21) 奥田清貴：津市付近におけるマツの枯損動態と枯損木の異常発現時期別マツノマダラカミキリ寄生状況　三重林技センター研報　1983
22) 作山　健ら：マツの材線虫病によって翌年に枯れた事例　日林東北支誌32, 206 ～ 207 , 1980
23) ————　：寒冷地方におけるマツ材線虫病激害林の様相 (Ⅱ) 日林東北支誌36, 1984
24) ————　：寒冷地方におけるマツ枯損木からのマツノザイセンチュウの検出状況　96回日林論, 459 ～ 460 , 1985
25) 信濃毎日新聞社：長野県野鳥図鑑, 1978
26) 竹谷昭彦ら：マツノマダラカミキリに関する研究 (XXXⅢ)　日林九支研論33, 113～114, 1980
27) 滝沢幸雄ら：東北地方におけるマツノマダラカミキリの生態　林試東北支だより 201 , 1 ～ 4 , 1978
28) 山根明臣：松くい虫　森林病虫獣害防除技術 (全国森林病虫獣害防除協会), 98, 1982
29) 吉田隆夫ら：京都府におけるマツノマダラカミキリの生態と防除 (予報) 29回日林関西支講, 134 ～ 136 , 1978
30) 由井正敏：マツノマダラカミキリを捕食する鳥類　森林防疫29(2), 34～36, 1980
31) 陳野好之：東北地方におけるマツ材線虫病の特徴と問題点　森林防疫33(1), 4 ～ 8 , 1984
32) ————：東北地方における最近の松くい虫被害状況　森林防疫34(12), 226 ～ 231 , 1985
33) ————：東北地方におけるマツ材線虫病の諸問題　林試東北支年報26, 1985
34) ————：寒冷地方に侵入した松くい虫　日本の松の緑を守る22, 4 ～ 6 , 1985