

四国地区におけるマツノザイセンチュウ抵抗性個体の選定

竹 内 寛 興⁽¹⁾・半 田 孝 俊⁽²⁾
大 黒 正⁽³⁾・岡 村 政 則⁽⁴⁾

Hirooki TAKEUCHI, Takatoshi HANDA, Tadashi OHGURO, and Masanori OKAMURA:

Selection of Resistant Pine Trees to the Pine-wood Nematode in Shikoku

要 旨：四国地区では昭和47年からマツノザイセンチュウ（材線虫）による被害がアカマツ、クロマツ林に急増した。これに対して3国立林木育種場と14県が協力して昭和53年度から「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」を開始した。四国地区では関西林木育種場四国支場、愛媛県及び高知県の3機関がこの事業に参加した。この事業の概要は下記のとおりである。

1. 材線虫抵抗性候補木は、四国北部の瀬戸内海沿岸では海拔200m以下、四国南部では300m以下で、クロマツは海岸から4 km, アカマツは海岸から25km以内で、健全木の残存率が10%以下の林分からアカマツ1,528本、クロマツ3,062本を選抜した。

2. 候補木当り20本のつぎ木を1月末～3月初めに3機関で行い、10本のつぎ木苗を11月から翌年の3月にかけて鉢植えにした。第一次人工接種検定（一次検定）はつぎ木の翌年に温室で鉢植え苗に実施した。同時に対照としてテーダマツの2年生実生苗に対しても実施した。人工接種検定方法は剥皮接種法とし、材線虫を1万頭の濃度に調整した懸濁液0.1mlをマイクロピペットを用いて接種した。使用した材線虫の接種源は九州島原地方で採取され、それを培養した系統「島原」を使用した。この材線虫系統を関西林木育種場四国支場で、さらに増殖し一次検定に使用したほか愛媛県及び高知県に配布、各県で検定に使用した。

材線虫の人工接種後、2週間毎に枯損の進行状況を調査し、8週間後の生存率あるいは健全率のいずれかが、対照のテーダマツ苗のそれを上回るものを一次検定合格木とした。

3. 関西林木育種場四国支場で一次検定合格木に対し、それぞれ20本のつぎ木苗を養成した。つぎ木翌年に一次検定と同様の方法で第二次人工接種検定（二次検定）を行った。その結果アカマツは15、クロマツは7個体を材線虫抵抗性個体として選定した。

4. 材線虫に対する抵抗性はクロマツよりもアカマツの方が強かった。

5. 松枯れによる生存率が低い林分から選抜した候補木のほうが一次検定に合格する率が高かった。

6. 一次及び二次検定合格木の原木から自然受粉種子を採取して養苗した実生苗と、材線虫抵抗性に関して無選抜の精英樹の実生苗に材線虫の人工接種検定を行った結果、前者が後者より著しく高い生存を示した。このことから本事業で選定した材線虫抵抗性個体の材線虫抵抗性形質は遺伝することが確認された。

目 次

I. はじめに	121
II. 四国地区の「マツノザイセンチュウ（材線虫）抵抗性育種事業」の実施機関	122
III. 材線虫抵抗性候補木（林分）の予備選抜調査	122
1. 四国地区における松くい虫の被害状況	122
2. 関西林木育種場四国支場と四国各県における材線虫抵抗性育種の対象樹種	125
3. 材線虫抵抗性候補木の選抜対象林分の分布と特徴	125

Ⅳ．材線虫抵抗性個体の選抜	125
1．機関別，年度別実施数量	125
Ⅴ．材線虫抵抗性種苗の生産と普及	134
1．合格木の自然受粉苗の材線虫抵抗性	134
2．材線虫抵抗性採種園の造成	137
Ⅵ．関西林木育種場四国支場における材線虫抵抗性育種に関する研究業績	138
付記．機関別の「マツノサイセンチュウ抵抗性育種事業」の担当者氏名一覧	139
引用文献	140
Summary	142

I. は じ め に

四国に分布するマツ属は、アカマツ(*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.), クロマツ(*P. thunbergii* PARL.), ヒメコマツ(*P. parviflora* SIEB. et ZUCC.), チョウセンゴヨウ(*P. koraiensis* SIEB. et ZUCC.), である。アカマツは石鎚山及び剣山周辺の高海拔地域を除いた四国全域に分布している。クロマツは主として海岸線付近に分布が集中しているが四国の西南部ではやや内陸まで分布し、海拔1,000mまで及んでいる³²⁾。ヒメコマツは山地に分布し特に尾根筋の岩石地等の立地条件の厳しい所に、またチョウセンゴヨウは東赤石山だけに分布している³¹⁾が両者の面積及び蓄積はわずかである。

クロマツ林は四国をとりまく長い海岸線と多くの瀬戸内海の島しょ部に天然に分布し、植栽されたものとともに防潮、防風、飛砂防止、魚付き等の保安林、国立公園等の自然公園にも指定され、景観構成上重要な役割を占めてきた。高知県幡多郡大方町の入野松原のクロマツ林は平均樹齢200年で、優れた景観と共に保安林としての機能を発揮してきた。愛媛県北条市の通称「土手松」として住民に親しまれたクロマツ林は、河川の土手に植栽されたもので、大洪水から住民の田畑を守るとともに周囲の景観と調和してきた¹⁵⁾。

アカマツ林は瀬戸内海側では海岸から分布しているが、太平洋側では海岸部には少なく内陸部に多く、標高1,200m付近まで分布している。アカマツの優良林分は高知県西部から愛媛県南部にかけて多く、大道松、茅川松、狩場松が代表的林分である。

四国で最初に松くい虫の被害が発生したのは昭和10年代に高松市西方の国有林である^{6,21)}。その後被害はパルプ工場や造船所に資材として搬入されたマツ類の被害丸太の移動により、海岸部から主要河川に沿って内陸部まで進行し、最近では内陸部の高知県十和村周辺の「大道松」まで被害が発生している⁶⁾。

松くい虫対策として昭和43年から農林水産技術会議による特別研究が実施され、マツの枯損がマツノザイセンウユ(*Bursaphelenchus xylophilus* (STEINER et BUHRER) NICKLE)と媒介昆虫のマツノマダラカミキリ(*Monochamus alternatus* HOPE)によって引き起こされることが明かとなった^{16,30)}。マツ枯れの因果関係の究明に伴い抵抗性育種の手法も見いだされた¹⁸⁾。昭和48年から九州林木育種場と林業試験場九州支場が中心になりマツノザイセンウユ（以下材線虫と略記する）の抵抗性育種の技術開発が進められ、材線虫の人工接種による抵抗性検定方法が確立され事業化の道が開かれた¹⁹⁾。

四国では昭和51年及び52年度の「マツノザイセンウユ抵抗性育種調査事業」と、53年度から59年度までは「マツノザイセンウユ抵抗性育種事業」を行い、アカマツ15、クロマツ7本の抵抗性個体を選抜・確定することができた。昭和62年度からは選定した材線虫抵抗性個体のつぎ木クローンによる材線虫抵抗性採種園造成を進めているので、昭和60年代後半には本抵抗性種苗が生産される見込みである¹¹⁾。材線虫抵抗性個体の選定に伴い材線虫抵抗性育種は材線虫抵抗性種苗の早期普及、この抵抗性と他の望ましい形質を複合して持つ新しい系統の創出等の課題に取り組んでいる。本文ではこれまでの事業の実行経過と得られた知見について述べられている。

この事業の遂行に当たっては、材線虫抵抗性候補木（林分）の予備選抜、同候補木の選抜調査、採穂、つぎ木増殖、人工接種検定、台帳等の作成等の作業が長年月にわたり、それぞれの担当機関において実施された。これらの作業に直接、間接に携わった方々は膨大な人数にのぼるが、本報告の文末には一部の方の氏名しか掲載できなかった。また育種場が行った選抜調査、採穂にあたっては四国四県及び高知営林局の担当者にたいへんお世話になったことに対して厚くお礼を申し上げる。

II. 四国地区の「マツノザイセンチュウ（材線虫）抵抗性育種事業」の実施機関

実施機関は関西林木育種場四国支場、愛媛県及び高知県である。

III. 材線虫抵抗性候補木（林分）の予備選抜調査

林野庁では抵抗性候補木の選抜要領の作成と選抜林分の実態調査を行うために昭和51年度から52年度にかけて「マツノザイセンチュウ抵抗性育種調査事業」（以下予備選抜と略記する）を国の委託事業として実施した。予備選抜では材線虫の被害が特に発生し易い地域を地況、気象条件等を勘案してTable 1のとおり調査区域を限定した。調査区域のマツ林のなかで材線虫によって上層木の残存率が30%以下の林分を激害地（海岸型）、それ以外の被害地または経験的に抵抗性があると推定される集団及び個体の特異集団（内陸型）として区分した。これらの林分について被害前の推定成立本数、健全木本数、齢級区分、材線虫被害の進展とその防除の概要、調査地の気象、地況及び林況等の調査を行い、材線虫抵抗性候補木の存在を確認した。

Table 1. 材線虫抵抗性候補木の予備選抜区域

地 方	標 高	海岸線からの距離
南 四 国 (徳島県, 高知県, 愛媛県南予地方)	300m以下	4 km以内
瀬 戸 内 (香川県, 愛媛県東, 中予地方)	200m以下	4 km以内

1. 四国地区における松くい虫の被害状況

1) マツ類の被害の材積推移

四国にはいわゆる松くい虫の被害は古くからあったが軽微であった。しかし昭和15年に高松市西方の国有林で著しい被害が認められた²¹⁾。その後被害は海岸線に沿って、東は徳島県、西は愛媛県まで拡大した。太平洋岸では昭和21年に高知県須崎市の海岸に被害が発生した。付近には港湾施設が多く船舶用材としてのマツ類の皮付き丸太を移入し、これらから被害が拡大したと考えられる。その後被害は西は足摺岬まで、東は徳島県境まで拡大した²²⁾。松くい虫の被害の原因は材線虫によるものが主であるが、マツ枯れとの因果関係が判明していなかった時点の被害とそれ以降の被害を本文では特に区別をしていない。

四国の民有林の県別及び国有林の被害材積の推移はFig. 1のとおりである。昭和35～39年にかけて被害量は増加し、その後沈静し、47年から再び増加し53～56年には甚大な被害材積となった。

香川県の民有林では昭和21年頃から被害が拡大してきた。被害材積は昭和22年～25年までは年1,200～3,500m³、昭和26年～30年は年300～700m³、以降36年までは年100m³前後に減少した。昭和37～45年までは年300～1,200m³の間の被害材積であったが、46年には4,000m³を越え以降増加して55年からは年100,000m³を越えた。また被害区域は島しょ部も含めて県下全域に拡大し、海岸線から20～25kmの内陸部、標高500mの地域に達した^{4,5)}。

愛媛県の民有林では昭和23年頃北条市付近で発生し、24年には今治市、松山市でも被害が認められた。さらに昭和39年頃には東予、中予、南予地方に被害は拡大した。八幡浜市では昭和43年頃には典型的な激害地区となり、佐田岬半島では被害発生から4～5年間に全枯れ状態となった。宇和島市以南では昭和46年頃から海岸に沿って散在的に激害林分が発生した。瀬戸内の今治市及び島しょ部では48年より激害林分が急増した。内陸部では被害は海岸から35km付近まで発生しているが、激害地は15kmまでの低山地であった^{13,14)}。標高200

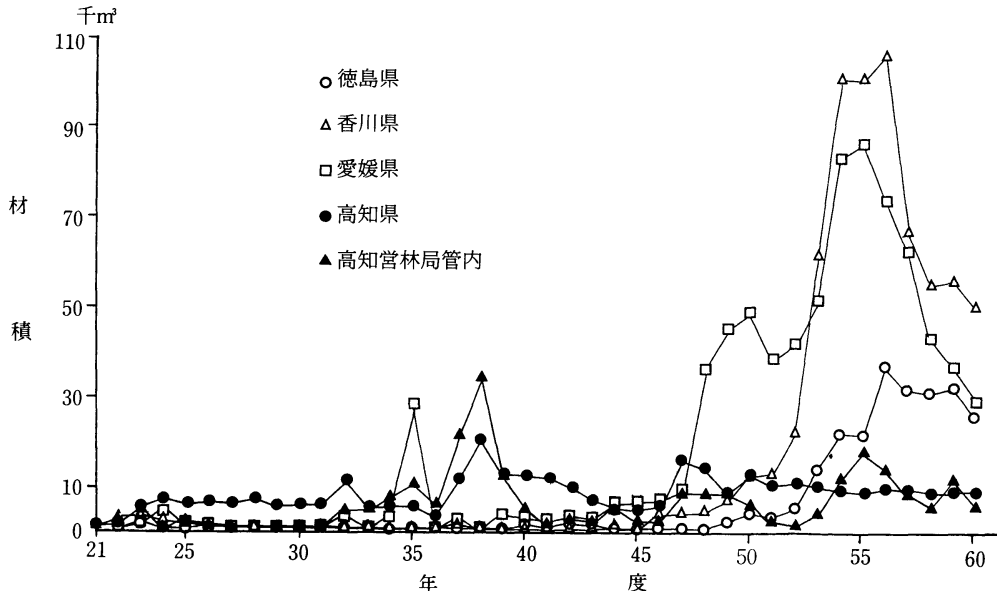


Fig. 1 四国地区における各機関別の松くい虫被害材積の推移

〔昭和21年度～昭和25年度：高知林友429号
昭和26年度～昭和60年度：林業統計要覧によった〕

m以下では被害は多いが、場所によっては500m付近まで被害が発生している。被害材積は昭和34年までは年100～4,000 m^3 であったが、35年には28,000 m^3 になりその後は43年まで年4,000 m^3 以下で推移した。昭和44年から被害材積は増加し、54～55年の被害は年80,000 m^3 を越え、以降減少している。

徳島県の民有林では昭和22年から沿岸の林分に被害が認められたが、被害が顕著となったのは31年頃からである²⁾。昭和46年には阿南市の内陸部、48年には鳴門市及び県南部で激害林分が発生した。被害の区域は海岸から14kmまでの内陸部、標高280mまでの里山地帯に広がり、特に100m以下の地域では枯損が激しかった^{24,25)}。被害材積は昭和48年までは年2,000 m^3 以下で推移してきたが、49年からは増加し始め、昭和56年には37,000 m^3 で最大となり、以降59年までは年30,000 m^3 を上回った。

高知県の民有林では、昭和21年須崎市周辺で最初の被害が発生し被害材積も400 m^3 程度であった。以降昭和31年までの被害材積は年5,000～7,000 m^3 で推移していたが、32年には11,000 m^3 に激増した。昭和33～36年までの被害材積は年3,000～6,000 m^3 に減少したものの、昭和37年からは被害区域が県西部に広がり被害材積も12,000 m^3 となり、38年には20,000 m^3 を越えた。被害区域はさらに県中央部の里山地帯に拡大し、海岸から20km付近まで被害は発生した。さらにこれまで被害が認められなかった幼齢林でも被害が発生するようになった。昭和38年から被害材積は減少し45年には5,200 m^3 であったが、その後増加し50年以降は年10,000 m^3 前後の被害量で推移している⁷⁾。

四国の国有林では昭和23年に5,000 m^3 の被害材積であったが、その後31年までは年200～1,500 m^3 で推移した。しかし昭和32年から被害は増加し始め、38年には35,000 m^3 の被害を記録した。昭和40年代前半の被害材積は年6,000 m^3 以下に減少したが、後半から増加し始め、55年は夏期に長雨、低温にもかかわらず18,000 m^3 の被害となった。被害地域は昭和40年代前半までは高知県中西部に集中し、足摺岬以西の海岸線のマツはほぼ全滅した。昭和40年代後半からは瀬戸内海沿岸地域の被害が多くなった⁶⁾。

以上各機関毎の松くい虫被害材積の推移を述べたが、被害はいずれも当初は老齢の大径木が全滅すると若

齢の小径木まで被害を受けた。また海岸部よりも里山地域の低山部に激害林分が多く発生し、昭和56年には四国全体で242,000m³ (全国の11.6%) の被害材積を記録した。その後はやや減少傾向にあるものの昭和60年の四国の年間被害材積は120,000m³余である。昭和37年度からの全国と四国の松くい虫被害材積の推移はFig. 2のとおりで、日本全体の被害は53年から突出的に増加している。

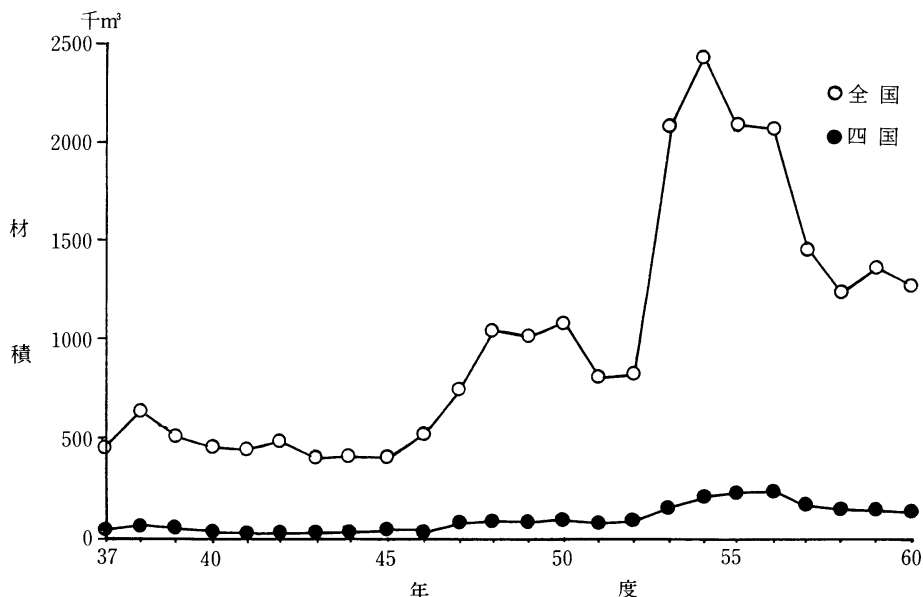


Fig. 2 全国と四国の松くい虫被害材積の推移
(昭和37年度～昭和60年度：林業統計要覧によった)

2) マツ類の造林面積の推移

マツの更新は天然下種によることが多いが、人工植栽は戦前には脊悪林地や海岸の保安林等で行われてきた。戦後になると抗木、建築用材、箱材及びパルプ材としての需要の増加にともない、農林家が里山地帯に積極的にマツを造林した。製紙会社もパルプ材用として造林してきた。このようなことから昭和35年までは年2,500～4,000haの人工造林が行われ、38年には4,600haの人工造林が行われた。しかし材線虫被害の増加に伴ってマツの造林面積は減少し、昭和50年代に入ると著しく減少した。

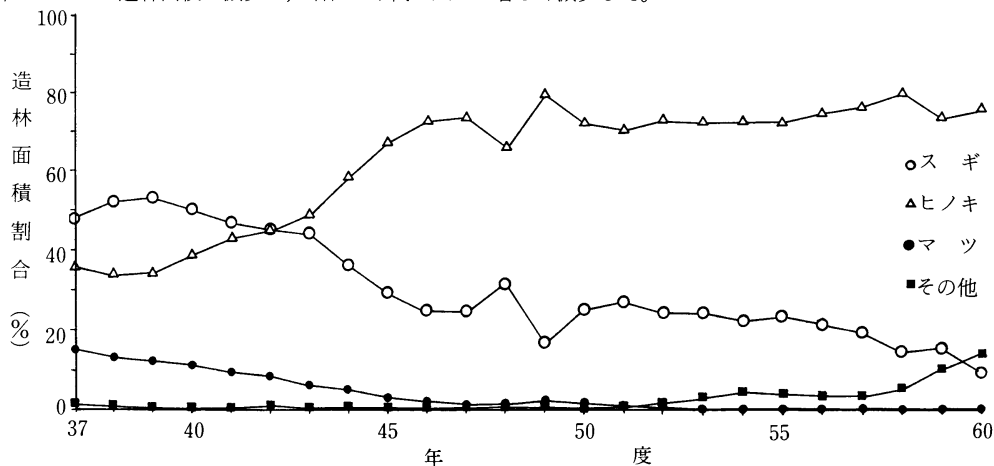


Fig. 3 四国の樹種別年度別の造林面積割合の推移
(昭和37年度～昭和60年度：林業統計要覧によった)

年度別、樹種別の四国の造林面積割合の推移はFig. 3のとおりである。昭和37年には、スギ49%、ヒノキ36%、マツ15%であったが、以降マツの造林面積割合は減少している。スギの価格の低迷からスギからヒノキに樹種転換が行われたこと、材線虫被害跡にヒノキを造林することが多くなったために、昭和40年代からヒノキの造林面積割合が増え、43年以降は樹種別の造林面積の首位を占めている。昭和49年にはマツはわずかに2.5%の306haとなった。昭和50年代に入るとクヌギを主とするその他の樹種の造林面積が増加しはじめ60年にはスギを越えた。逆にマツの造林面積はさらに減少し、昭和55年には全体の0.3%の20haの造林がなされたにすぎず、以降は0.2%以下で海岸の保安林や、修景用に造林されているにすぎない。

2. 関西林木育種場四国支場と四国各県における材線虫抵抗性育種の対象樹種

四国において材線虫の被害を受けている主要樹種は、近畿、中国、九州地方と同様にアカマツ、クロマツで、2種が抵抗性育種事業の対象樹種となった。

3. 材線虫抵抗性候補木の選抜対象林分の分布と特徴

抵抗性候補木の選抜対象地域は瀬戸内地域（香川と愛媛県の東・中予地方）で海拔200m以内、南四国地域（徳島県、高知県及び愛媛県の南予地方）では海拔300m以内で、アカマツは海岸から25km、クロマツは海岸から4km以内とした。選抜はこれらのうちで、各地の松くい虫被害の推移で述べた被害林分の分布が多い地域で行われた。アカマツは瀬戸内海の島しょ部を含む四国の海岸と一部の低山地全域で選抜が行われたが、高知県の東部と西部地区では選抜箇所が少なかった。クロマツは瀬戸内海の島しょ部を含む四国の海岸全域で選抜が行われ、アカマツとは逆に高知県の東部と西部地区での選抜箇所が多かった。また選抜対象林分は被害が進行中のものが多く、枯損が90%を越える林分だけで候補木が選抜されたわけではなかった。

VI. 材線虫抵抗性個体の選抜

1. 機関別、年度別実施数量

1) 抵抗性候補木の選抜

昭和51年度の予備選抜でリストアップされた候補木の確認は1,113本で、機関毎、残存率別の内訳はTable 2のとおりである。当時はまだ被害が進行中の林分が多く、選抜に必要な所定の条件を満たす箇所が少ないなかで、選抜対象残存木を相当の高齢木に絞って行った。その後も各機関では被害の進行状況と特異集団と考えられる林分の把握を行った。昭和53年度から55年度にかけての「マツノザイセンウユ抵抗性育種事業」（以下本事業と略記する）では、予備選抜で存在を確認しておいた候補木を含めて抵抗性候補木（以下候補木と略記する）の選抜を行った。なお、クロマツについては選定した材線虫抵抗性個体数が予定に満たなかったため関西林木育種場四国支場（以下育種場と略記する）で、昭和58年度から追加選抜を行ってきた。以下の選抜及び検定本数にはこれらを含んでいる。

四国の各機関で選抜した候補木はTable 3に示すとおりでアカマツ1,528本、クロマツ3,062本で、クロマツが全体の66.7%である。選抜した候補木の分布はFig. 4のとおりである。

「マツノザイセンウユ抵抗性育種事業実施要領（昭和53年7月17日 林野造第131号）」では候補木はⅥ齢級以上でかつ材線虫による被害程度が90%以上の林分の中から上層木の健全木を選抜することになっている。しかし被害が進行中の林分からと、特異集団からの選抜もあり必ずしも基準通りの選抜が実施されたわけではない。選抜林分内の個体の残存率毎の候補木選抜本数はTable 4のとおりである。育種場は香川県、徳島県下の民有林と高知営林局管内の国有林を主体に選抜を行った。選抜対象林分の所在地と被害状況については、それぞれの県で調査した資料によった。育種場が選抜したアカマツの候補木は749本であり、その内訳

は民有林については香川県内から227本、徳島県内から381本、愛媛県内から61本であり、国有林については高知営林局管内からの80本である。クロマツは1,294本で、その内訳は民有林については香川県内から511本、徳島県内から616本、愛媛県内から3本、高知県内から12本であり、国有林については高知営林局管内からの152本である。このほか選抜本数には第一次人工接種検定（一次検定）を行ったアカマツ精英樹88クローン、クロマツ精英樹59クローンが含まれる。なお育種場の選抜本数には昭和58年度以降行なったクロマツ候補木の310本の追加選抜が含まれている。

Table 2. 予備選抜による材線虫抵抗性候補木本数と選抜林分

機関別	樹 種	区 分	残 存 率					合 計
			1.0 (%) 以 下	1.1 ~ 5.0 (%)	5.1 ~ 10.0 (%)	11.0 ~ 30.0 (%)	30.0 (%) 以 上	
愛媛県	アカマツ	激 害 地(海岸型)	2(2)	21(1)	128(2)	()	()	151(5)
		特異集団(内陸型)	()	()	()	()	79(1)	79(1)
		計	2(2)	21(1)	128(2)	()	79(1)	230(6)
	クロマツ	激 害 地(海岸型)	16(7)	10(1)	()	162(5)	()	188(13)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	125(1)	125(1)
		計	16(7)	10(1)	()	162(5)	125(1)	313(14)
	計	激 害 地(海岸型)	18(9)	31(2)	128(2)	162(5)	()	339(18)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	204(2)	204(2)
		計	18(9)	31(2)	128(2)	162(5)	204(2)	543(20)
高知県	アカマツ	激 害 地(海岸型)	()	12(3)	3(1)	()	()	15(4)
		特異集団(内陸型)	()	()	()	()	()	()
		計	()	12(3)	3(1)	()	()	15(4)
	クロマツ	激 害 地(海岸型)	79(7)	76(8)	103(4)	127(6)	()	385(25)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	170(1)	170(1)
		計	79(7)	76(8)	103(4)	127(6)	170(1)	555(26)
	計	激 害 地(海岸型)	79(7)	88(11)	106(5)	127(6)	()	400(29)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	170(1)	170(1)
		計	79(7)	88(11)	106(5)	127(6)	170(1)	570(30)
計	アカマツ	激 害 地(海岸型)	2(2)	33(4)	131(3)	()	()	166(9)
		特異集団(内陸型)	()	()	()	()	79(1)	79(1)
		計	2(2)	33(4)	131(3)	()	79(1)	245(10)
	クロマツ	激 害 地(海岸型)	95(14)	86(9)	103(4)	289(11)	()	573(38)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	295(2)	295(2)
		計	95(14)	86(9)	103(4)	289(11)	295(2)	868(40)
	計	激 害 地(海岸型)	97(16)	119(13)	234(7)	289(11)	()	739(47)
		特異集団(内陸部)	()	()	()	()	374(3)	374(3)
		計	97(16)	119(13)	234(7)	289(11)	374(3)	1,113(50)

注：裸は本数，() は選抜林分数

Table 3. 材線虫抵抗性候補木の年度別の選抜本数と人工接種検定の実施数量及び合格本数

樹種	実 施 機 関	選抜本数					一次検定本数					一次検定合格本数					二次検定合格本数					
		53	54	55	58	計	55	56	57	58	60	計	55	56	57	58	計	57	58	59	60	計
アカマツ	愛媛県	100	250	208	—	558	81	222	252	—	—	555	9	30	20	—	59	1	2	0	—	3
	高知県	29	43	61	—	133	29	43	61	—	—	133	7	7	8	—	22	0	3	1	—	4
	育種場	200	206	431	—	837	48	147	442	200	—	837	21	62	12	40	135	0	3	5	0	8
	計	329	499	700	—	1,528	158	412	755	200	—	1,525	37	99	40	40	216	1	8	6	0	15
クロマツ	愛媛県	292	150	200	—	642	231	182	221	—	—	634	11	10	6	—	27	2	1	0	—	3
	高知県	349	378	340	—	1,067	349	378	340	—	—	1,067	0	17	27	—	44	—	0	2	—	2
	育種場	239	255	549	310	1,353	141	140	308	545	310	1,353	5	15	3	12	35	0	1	1	0	2
	計	880	783	1,089	310	3,062	721	700	869	454	310	3,054	16	42	36	12	106	2	2	3	0	7

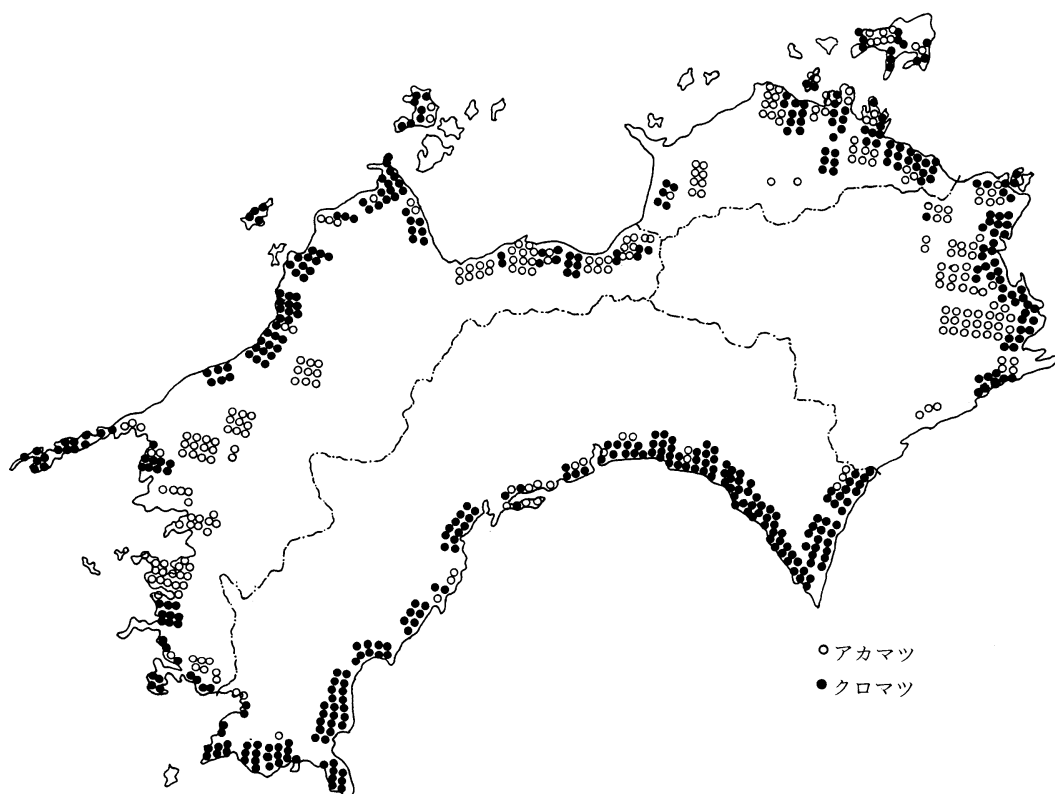


Fig. 4 四国地区における材線虫抵抗性候補木の分布

Table 4. 選抜林分の生存個体残存率と一次及び二次検定合格本数

樹種	個体残存率(%)	～1	～5	～10	～30	30～	計
アカ	選 抜 数 (本)	21	371	522	342	272	1,528
	一次合格数(本)	5	65	66	51	29	216
	二次合格数(本)		10	5			15
クロ	選 抜 数 (本)	76	491	985	632	878	3,062
	一次合格数(本)	4	12	40	21	29	106
	二次合格数(本)	1	1	2	2	1	7

2) 選抜した抵抗性候補木のつぎ木増殖

(1) 事前の検討

人工接種検定を進めるに先立って、検定の効率化、事業規模、所要圃場面積等について検討した。その結果、材線虫抵抗性候補木のつぎ木クローンを検定苗木に用いることになった。

事業を推進するには大量のつぎ木クローンを養成する体制を整える必要があった。つぎ木については「マツノザイセンウユ抵抗性育種事業実施要領の運営について」(昭和53年12月22日 53林野造第237号)に従って各機関がつぎ木増殖作業を実施した。

マツに限らずつぎ木は一般に熟練を必要とする。本事業では1月下旬から3月上旬の2ヵ月間に8,000から15,000本のつぎ木を実施しなければならないので、熟練者の不足が懸念された。そこでつぎ木未経験者には研修を行い、つぎ木実行時には熟練した経験者の指導を受けさせて技術の向上に努めさせた。

1候補木当たりの人工接種検定本数は各機関の事業量等を勘案して一次検定は10本、第二次人工接種検定(二次検定)は20本のつぎ木苗を用いることとした。1候補木当りに必要なつぎ木本数は、過去の経験から活着率を50%とみて、一次検定用には20本、二次検定用には40本とした。従って、四国での一次検定用アカマツのつぎ木本数はおよそ31,000本、クロマツのそれはおよそ61,000本であった。さらに二次検定用のアカマツのつぎ木本数はおよそ4,000本、クロマツのそれはおよそ3,000本であった。

(2) つぎ木の方法

つぎ木に必要な台木は1回床替え2年生のクロマツ実生苗を用いた。つぎ木方法は割りつぎとした。単年度の各機関のつぎ木実行量は8,000~15,000本になるために作業方法を工夫して事業を遂行した。実際にはつぎ木時期の繰上げによって作業期間を延長し、つぎ木後乾燥を防ぐためにつぎ木苗1本づつにビニール袋をかけることを省略し、代わりに畦全体に布ビニール等でトンネル状に覆うことで労務量の分散軽減をはかった。

(3) つぎ木実行の結果

本事業における7年間の候補木のつぎ木増殖結果はTable 5 のとおりである。四国の3機関の平均つぎ木活着率はほぼ当初見込んだ50%にとどまった。しかし年度によっては50%を下回ることがあった。つぎ木活着が悪かった原因は技術者の熟練度のほかにつぎ木に使用した穂木の不良によるものと考えられる。つぎ木活着の良くない穂は①樹勢が盛んでなくつぎ木部となる前年枝の伸びが少ないもので、このような穂木は候補木が高齢木あるいは海岸の風衝地に生育しているものに多かった。②伸長中の穂木に雄花を多く着生しているもの。③後食痕が多く、穂木が衰弱したことなどが考えられた。

Table 5. 材線虫抵抗性候補木年度別のつぎ木活着率

樹種 年度	アカマツ				クロマツ			
	クローン数	つぎ木 本数(本)	活 本数(本)	着 活 着 率 (%)	クローン数	つぎ木 本数(本)	活 本数(本)	着 活 着 率 (%)
53	329	6,859	3,594	52.4	880	17,273	9,717	56.3
54	499	9,775	4,530	46.3	783	14,608	5,897	40.4
55	725	15,789	7,392	46.8	1,094	23,249	12,986	55.9
56	220	5,755	3,222	55.9	465	9,080	4,994	55.0
57	21	1,071	567	52.9	33	1,716	909	52.9
58					310	13,558	6,255	46.1
59	50	3,128	1,936	61.8	10	389	220	57.5
計	1,844	42,377	21,241	50.1	3,575	79,873	40,978	51.3

(注) クローン数及びつぎ木数にはつぎ木活着が悪く、再度つぎ木を行ったもの及び二次検定用のつぎ木したものが重複して含まれている。

つぎ木活着の悪い候補木は人工接種検定に必要なラメート数を確保できなかったため、育種場においては再度選抜候補木原木から採穂を行ったものがかなりあった。このことから人工接種検定の年次を繰り下げる必要が生じたが事業全体には支障はなかった。

3) 一次検定

年度別、機関別の材線虫抵抗性候補木選抜本数、一次及び二次検定の実施数はTable 3のとおりである。

本事業における一次検定は愛媛県、高知県及び育種場が以下の手順で実施した。

つぎ木後1生長期間苗畑で育苗した苗を11月下旬から翌年3月にかけて8号鉢に2本ずつ鉢上げし、順次ガラス室で育成した。

人工接種検定はつぎ木増殖の翌年の7月中旬から下旬にかけて剥皮接種法によって実施した。この方法は苗木のつぎ木部の約20cm上部を幅1~1.5cm、長さ3~5cmの大きさに剥皮して、その表面全体に小鋸で浅いき傷を付けたところへ、1ml中にマツノザイセンウウを10万頭の濃度に調整した懸濁液0.1mlをマイクロピペットを用いて接種するものである。使用した材線虫の接種源は九州、島原地方で採取し、培養した「島原」系統である。この材線虫系統を育種場で増殖して一次検定に使用したほか、愛媛県及び高知県に配布し、人工接種に使用した。

人工接種検定本数は1候補木当り10本、対照のテーダマツ苗 (*P. taeda* L.) は九州林木育種場で選定した5母樹の等量混合種子で養成した1回床替え2年生の実生苗で50本を標準とした。

人工接種8週間後の生存率あるいは健全率のいずれかが、対照のテーダマツ苗のそれを上回るものを一次検定合格木（以下一次合格木と略記する）とした。

一次検定を実施した候補木はアカマツ1,525本、クロマツ3,054本で、選抜した候補木本数に対する割合はそれぞれ99.8%、99.7%であった。選抜した候補木で検定を行わなかったのはアカマツで3、クロマツでは8本であった。一次検定に合格したアカマツが216、クロマツが106本である。合格本数にはアカマツ精英樹4、クロマツ精英樹3本が含まれている。接種検定を行った候補木に対する一次検定合格率は、アカマツ14.16%、クロマツ3.47%でこれまでの報告²²⁾と同様にクロマツの材線虫抵抗性の合格率が低かった。

4) 二次検定

一次検定で合格した候補木について、再度母樹から採穂を行いつぎ木苗を養成し、一次検定と同様に鉢植えしガラス温室に移して育てた。二次検定は育種場において1候補木当りつぎ木苗20本の人工接種検定を実施した。人工接種検定の手順、方法は一次検定と同様に行ったが、クロマツの合格基準の見直しを行った。これはアカマツと比較してクロマツの材線虫抵抗性はるかに低いことから人工接種6週間後の生存率が対照のテーダマツ苗の生存率の60%以上のものを二次検定合格木（以下二次合格木と略記する）とした。

二次検定の結果アカマツは15、クロマツ7本が合格し、材線虫抵抗性個体として確定した。クロマツの合格木には精英樹三豊103が含まれている。合格率はアカマツが一次合格木の6.9%、クロマツは6.6%であった。育種場が昭和58年度以降行ったクロマツ310本の追加選抜木からは二次合格木を選定できなかった。

二次合格木の選定地はFig. 5のとおりであり、材線虫抵抗性個体（二次合格木）の選定状況はTable 6及びTable 7のとおりである。材線虫抵抗性のアカマツは四国各県から選定されたのに対し、同クロマツは徳島県からは選定されなかった。

材線虫抵抗性候補木クローンの人工接種検定による生存率階級毎の本数とそのうちの二次合格木本数はTable 8のとおりである。合格の基準をテーダマツ苗の生存率との比較で行ったので必ずしも一次検定の生存率が高い候補木が二次検定に合格してはいない。選抜した候補木の半数以上について、人工接種検定で全

ラメートが枯れてしまったが、一次検定による生存率が11～20%の候補木からも二次合格木があり、逆に一次検定の生存率が90%以上でもアカマツの場合は二次合格木になっていない場合があった。

二次合格木の人工接種検定結果はTable 9 及びTable10のとおりである。

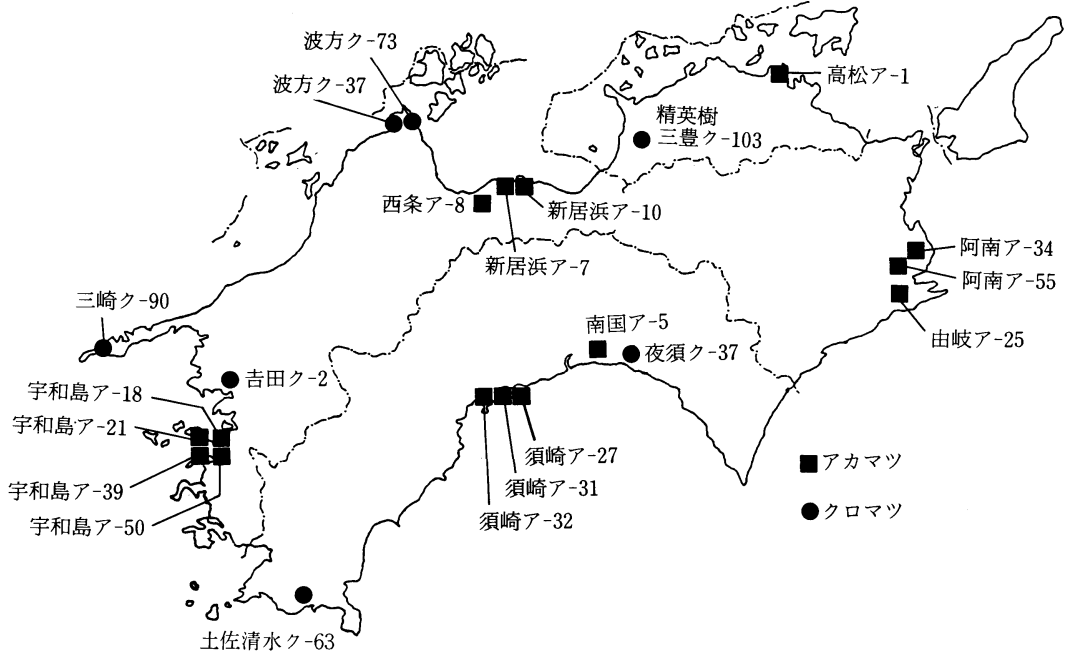


Fig. 5 四国地区における選定した材線虫抵抗性個体の分布とその名称

Table 6. 選定されたアカマツ抵抗性個体一覧表

抵抗性個体	所在地	海岸からの距離 (km)	海拔高 (m)	年齢 区分	成立	残存率 (%)	土壌型	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	着果 状況	後食 痕
西条ア-8	西条市大浜町	5.5	190	VII	天然	10	B _B	9	20	少	少
新居浜ア-7	新居浜市大島	0.1	10	VII	人工	10	B _B	9	22	少	少
新居浜ア-10	新居浜市大島	0.1	10	VII	人工	10	B _B	12	14	少	少
南国ア-5	南国市里改田	0.7	100	IX	天然	10	rB _B	5	25	少	無
須崎ア-27	須崎市横浪	0.4	280	IX	天然	5	B _B	7	28	少	無
須崎ア-31	須崎市横浪	0.4	280	IX	天然	5	B _B	6	23	少	無
須崎ア-32	須崎市横浪	0.4	280	IX	天然	5	B _B	6	23	少	無
高松ア-1	高松市西石清尾山	2.0	170	XV	天然	5	B _B	14	22	多	中
宇和島ア-18	宇和島市三浦	1.0	100	VII	人工	5	B _A	7	10	無	多
宇和島ア-21	宇和島市三浦	1.0	100	VII	人工	5	B _B	11	18	少	多
宇和島ア-39	宇和島市三浦	1.0	100	VII	人工	5	B _B	12	15	少	多
宇和島ア-50	宇和島市三浦	1.0	100	VII	人工	5	B _B	10	17	無	多
由岐ア-25	徳島県海部郡由岐町	1.0	60	IX	人工	10	B _B	11	26	多	少
阿南ア-34	阿南市才見町	1.5	70	VIII	天然	5	B _B	12	24	無	多
阿南ア-55	阿南市山口町	3.5	100	XV	天然	5	B _C	15	51	少	多

Table 7. 選定されたクロマツ抵抗性個体一覧表

抵抗性個体	所在地	海岸からの距離 (km)	海拔高 (m)	年齢級 区分	成立	残存率 (%)	土壌型	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	着果 状況	後食 痕
三崎ク-90	愛媛県西宇和郡三崎町	0.1	50	VI	天然	25	B _C	12	17	少	少
波方ク-37	愛媛県越智郡波方町	3.0	60	VII	天然	10	B _B	12	12	少	少
波方ク-73	愛媛県越智郡波方町	0.5	60	VII	天然	5	B _B	10	14	少	少
夜須ク-37	高知県香美郡夜須町	0.1	10	IX	天然	30	rB _A	17	44	少	少
土佐清水ク-63	土佐清水市片粕	0.01	10	IX	天然	10	B _A	6	33	少	少
吉田ク-2	愛媛県北宇和郡吉田町	1.0	250	VIII	天然	0.1	B _B	10	22	中	中
三豊ク-103	香川県三豊郡山本町	9.0	200	XIV	天然	30 以上	B _{B(d)}	29	58	不明	不明

(注) 三豊ク-103はクロマツ精英樹で、樹高及び胸高直径は精英樹選抜時の数値

Table 8. 人工接種検定における生存率ごとの一次検定本数と二次検定合格本数

樹種 生存率(%)	アカマツ		クロマツ	
	一次検定本数 (本)	二次検定合格 本数(本)	一次検定本数 (本)	二次検定合格 本数(本)
0	830		2,236	
1~10	82		214	
11~20	188	3	308	1
21~30	98	2	108	
31~40	86	3	76	
41~50	72	1	48	2
51~60	52		18	2
61~70	48	4	26	1
71~80	20		10	
81~90	23	2	1	
91~100	26		9	1
合計	1,525	15	3,054	7

Table 9. アカマツの二次検定合格木の検定結果

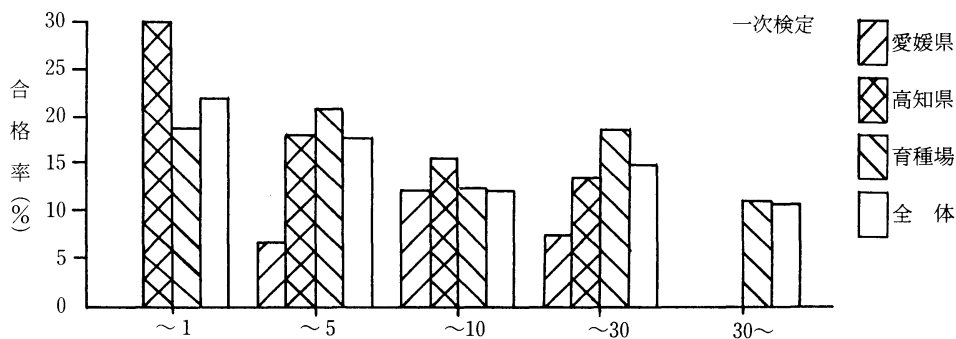
区 分		一 次 検 定						二 次 検 定					
クローン名	実 施 機 関	検 定 年 度	検定クローン		デーダマツ		実 施 機 関	検 定 年 度	検定クローン		テーダマツ		
			生存率 (%)	健全率 (%)	生存率 (%)	健全率 (%)			生存率 (%)	健全率 (%)	生存率 (%)	健全率 (%)	
西 条 アー 8	愛媛県	55	62.5	50.0	69.0	31.0	育種場	57	58.3	58.3	76.7	46.7	
南 国 アー 5	高知県	55	88.9	66.7	83.0	54.0	育種場	58	80.0	73.3	85.2	50.0	
須 崎 アー31	高知県	56	12.3	8.3	15.0	3.3	育種場	58	60.0	50.0	85.2	50.0	
須 崎 アー32	高知県	56	18.2	18.2	15.0	3.3	育種場	58	90.0	90.0	85.2	50.0	
宇和島アー18	育種場	56	25.0	12.5	12.0	0	育種場	58	80.0	60.0	85.2	50.0	
宇和島アー21	育種場	56	40.0	20.0	12.0	0	育種場	58	80.0	80.0	85.2	50.0	
宇和島アー50	育種場	56	25.0	25.0	12.0	0	育種場	58	100	100	85.2	50.2	
新居浜アー 7	愛媛県	56	40.0	20.0	33.0	2.0	育種場	58	53.8	46.2	60.0	40.0	
新居浜アー10	愛媛県	56	40.0	10.0	33.0	2.0	育種場	58	90.0	80.0	85.2	50.0	
高 松 アー 1	育種場	55	70.0	0	68.0	20.0	育種場	59	62.5	62.5	46.3	22.2	
須 崎 アー27	高知県	56	18.2	9.1	15.0	3.3	育種場	59	50.0	43.3	46.3	22.2	
宇和島アー39	育種場	56	66.7	0	12.0	0	育種場	59	53.3	46.7	46.3	22.2	
阿 南 アー34	育種場	56	70.0	0	12.0	0	育種場	59	62.5	56.3	46.3	22.2	
阿 南 アー55	育種場	56	42.8	0	12.0	0	育種場	59	50.0	42.3	46.3	22.2	
由 岐 アー25	育種場	57	87.5	0	76.7	46.7	育種場	59	35.7	28.5	46.3	22.2	

(注) 昭和58年度の二次検定のデーダマツの生存率、健全率、二つの数値は検定を二回に分けて行ったためである。

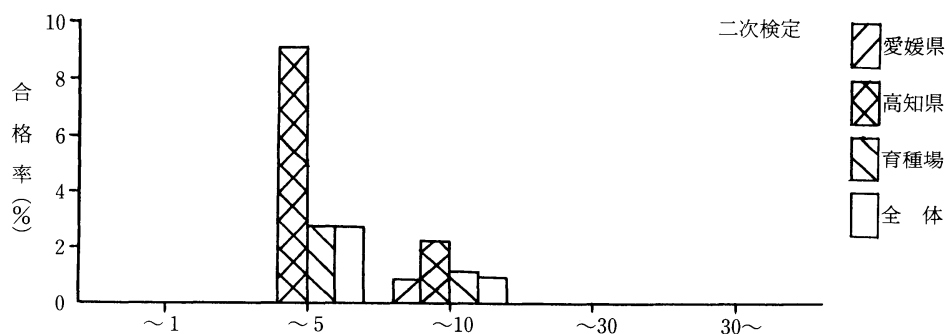
Table10. クロマツの二次検定合格本の検定結果

区 分 クローン名	実 施 機 関	一 次 検 定 検 定 年 度	一 次 検 定				実 施 機 関	二 次 検 定 検 定 年 度	二 次 検 定			
			検定クローン 生存率 (%)	健全率 (%)	デーダマツ 生存率 (%)	健全率 (%)			検定クローン 生存率 (%)	健全率 (%)	デーダマツ 生存率 (%)	健全率 (%)
波 方 クー37	愛媛県	55	100	80.0	69.0	31.0	育種場	57	60.0	15.0	76.7	46.7
三 崎 クー90	愛媛県	55	55.6	33.3	69.0	31.0	育種場	57	80.0	73.3	76.7	46.7
波 方 クー73	愛媛県	56	50.0	50.0	33.0	2.0	育種場	58	42.9	42.9	60.0	40.0
吉 田 クー2	育種場	56	51.1	51.1	12.0	0	育種場	58	91.7	83.3	85.2	50.0
三 豊 クー103	育種場	55	70.0	10.0	68.0	20.0	育種場	59	28.6	0	46.3	22.2
夜 須 クー37	高知県	56	11.1	11.1	15.0	3.3	育種場	59	60.0	55.0	46.3	22.2
土佐清水クー63	高知県	56	50.0	10.0	15.0	3.3	育種場	59	70.0	60.0	46.3	22.2

(注) 昭和58年度の二次検定のデーダマツの生存率、健全率、二つの数値は検定を二回に分けて行ったためである。



材線虫抵抗性候補木選抜林分の生存個体残存率 (%)



材線虫抵抗性候補木選抜林分の生存個体残存率 (%)

Fig. 6 アカマツの残存率別一次及び二次検定合格率

5) 人工接種検定結果のまとめ

選抜強度を強くすることによって材線虫抵抗性個体の検出率を高くすることができるのかどうかを知るために、一次合格木を選抜した林分内の個体残存率と機関別の一次合格率及び二次合格木を選抜した林分内の個体残存率と機関別の合格率をFig. 6 及びFig. 7 に示した。また選抜林分内の個体残存率ごとの選抜本数、一次合検定合格本数及び二次検定合格本数はTable 4 のとおりである。林分内の個体残存率が1%以下の所から選抜した候補木の一次検定合格本数はアカマツが21本中5本で合格率は23.8%, クロマツが76本中4本で合

格率は5.3%であった。しかしこのように被害の激しい林分からの選抜本数が少なかったためアカマツでは二次合格木は選定されなかった。またアカマツでは林分内の個体残存率が10%を超える林分で選抜した候補木には二次合格木は選定されていない。これに対し残存率が30%を超える特異林分から選抜した候補木の一次検定合格本数はアカマツが272本中29本で合格率は10.7%,クロマツが878本中29本で合格率は3.3%であった。二次合格木はアカマツにはなく、クロマツでも合格の1本は精英樹で被害林分から選抜した候補木ではない。このことから松枯れ林分内の個体の残存率のきわめて低い、すなわち強度の被害淘汰を受けた林分から選抜する方が材線虫抵抗性個体を選出する確率が高いといえる。

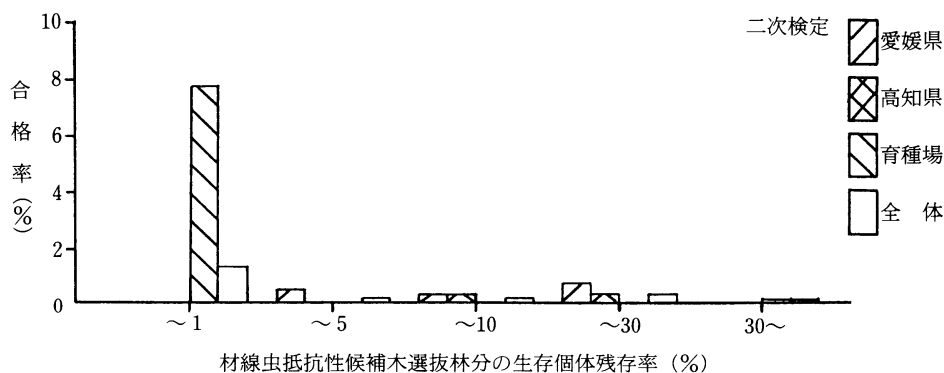
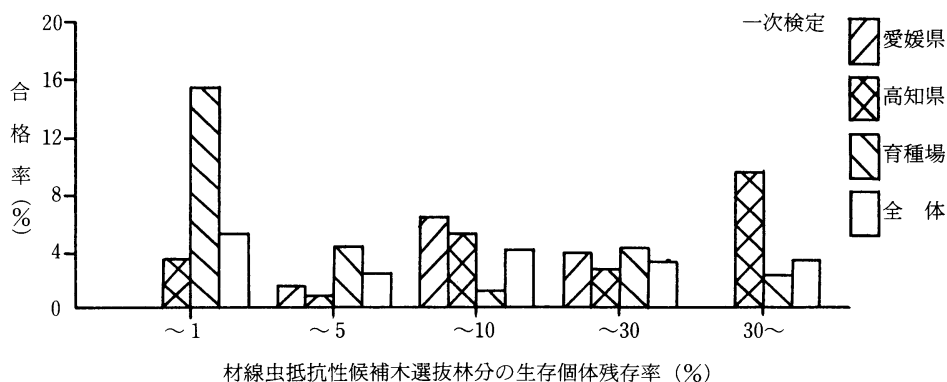


Fig. 7 クロマツの残存率別一次及び二次検定合格率

材線虫抵抗性個体の選定数に地域差があるのかどうかFig. 4とFig. 5において選抜地域毎に二次合格木の出現を検討した。アカマツでは一次合格木の割合が特に高い地域はなかった。しかし二次合格木の出現を検討すると愛媛県の宇和島市周辺では4本、新居浜市周辺では3本、高知県中部では4本、徳島県の阿南市周辺では3本の二次合格木があり、この地域に抵抗性個体が集中している傾向がみられる。クロマツでは高知県東部から徳島県、香川県東部までの地域、愛媛県の松山市周辺、伊予三島市周辺の地域、高知県須崎市から中村市にかけての地域では二次合格木はなかった。これに対し二次合格木が選定されたのは愛媛県の宇和島市周辺と佐田岬半島ではそれぞれ1本、今治市周辺では2本、高知県土佐清水市周辺で1本、夜須町周辺で1本、香川県三豊郡の精英樹が1本であり、材線虫抵抗性個体が分散している傾向がみられる。

材線虫のふ化、脱皮等の繁殖生態に関する物質の調査から、抵抗性が材中の β -myrceneと関係があり、抵抗性の個体は感受性のそれと比較して β -myrceneの含有量が低いことが明らかになった¹²⁾。このことから

今後追加選抜等を行う場合には、抵抗性の検定方法に材中の β -myrcene含有量の調査を加えればより効率的に抵抗性の判定ができると考えられる。

V. 材線虫抵抗性種苗の生産と普及

1. 合格木の自然受粉苗の材線虫抵抗性

本事業によって得られた抵抗性個体のつぎ木苗を用いてクローン採種園を造成し、抵抗性個体同士の任意交配による材線虫抵抗性種苗を普及することになっている。

すでに昭和62年度から四国では補助事業による材線虫抵抗性採種園の造成が行われ、これらの採種園からの抵抗性種苗の供給は昭和60年代後半からになる見通しである¹¹⁾。それまでの間の材線虫抵抗性種苗の供給を目的として林野庁では「マツノザイセンウユウ抵抗性松供給特別対策事業（昭和58年4月14日 58林野造第44号）」（以下特別対策事業と略記する）を昭和58年度から実施中である。これは当面の暫定的な措置として、一次合格木の原木から自然受粉種子を採取し、その苗木に材線虫を人工接種し、生き残った健全苗を造林に供給するものである（これを選抜育種による抵抗性苗木の育成・供給とし、以下選抜育種と略記する）。今のところは供給量は少ないので、海岸の保安林、景勝地等に植栽している。

また、もう一つの方法は精英樹の採種園等を利用して、人工交配によりクロマツ×タイワンアカマツ (*P. massoniana* LAMB)のF₁を生産し、造林するもので、雑種は和華松と名付けられている。（これを交雑育種による抵抗性種子の生産・供給とし、以下交雑育種と略記する）。

特別対策事業の選抜育種は昭和58年度から愛媛県と香川県が、高知県は62年度から実施している。昭和61年度に香川県と愛媛県が材線虫の人工接種を行い、健全だった苗木3,100本を森林公園、県有林、試験地に植栽した。昭和62年度に香川県と愛媛県は8,500本の人工接種検定を実行した。

交雑育種による和華松苗の生産のための人工交配を昭和58年度から香川県と徳島県が年2,500～2,750袋実行している。現在のところ和華松の生産量は少ないが、交配技術の向上等により和華松苗は間もなく本格供給される見込みである。

1) 一次合格木の自然受粉苗の材線虫抵抗性

四国の3機関で選抜した一次及び二次合格木から昭和58～59年の秋に母樹別に球果を採取し、それぞれ次年の春に機関毎に母樹別に種子をまき付けた。床替は昭和60年及び61年春に通常の方法で行った。材線虫の人工接種検定は昭和60年には7月下旬に、61年には8月上旬に1回床替え2年生苗について実施した。人工接種検定方法は実施要領に従って行い、苗木の当年伸長部位に剝皮接種法により行なった。材線虫を1ml中10万頭に調整した懸濁液を用いて1個体当たり0.05mlずつマイクロピペットを使用して接種した。

実施機関により人工接種検定の環境条件、検定家系及び苗木の生育状況等異なるが、昭和60～61年度の人工接種検定結果を取りまとめるとTable11のとおりである。Table11の取りまとめに当っては家系あたり人工接種検定数が30本以上の家系を対象とした。同一家系を2年度にわたり繰り返しをもうけて検定した場合はその平均値を用いた。2ヵ年間にアカマツ34家系、クロマツ33家系の人工接種検定を行なった。実施家系数は二次合格木を含む一次合格木に対しアカマツは15.7%、クロマツは31.1%であった。このうちアカマツでは8家系、クロマツでは3家系が二次合格木で、二次合格木に対して前者は53.3%、後者は42.9%であった。検定した家系が少なかったのは、着果した原木母樹が少なかったためである。

Table11. 一次及び二次合格木の自然受粉苗の人工接種検定結果（接種本数30本以上の家系）

樹 種	全 家 系		二次合格木		一次合格木 (二次合格を除く)	
	検 定 家 系	平均健全率 (%)	家系数	平均健全率 (%)	家系数	平均健全率 (%)
アカマツ	34	49.7	8	58.0	26	47.3
クロマツ	33	47.5	3	56.9	30	46.6
テ ー ダ マ ツ	1	42.6	九州林木育種場産（5母樹の混合）			
アカマツ精英樹	1	24.1	林木育種場四国支場産（10家系の混合）			
クロマツ精英樹	1	17.8	林木育種場四国支場産（10家系の混合）			

一次合格木（以下特に断わらない限り二次合格木は含まれていない）家系の人工接種検定結果はTable12のとおりである。Table12には人工接種検定苗本数が少ない家系もすべて含まれている。昭和60年度に実施した結果ではアカマツの平均健全率は香川県で12.5%，愛媛県で66.8%，育種場で46.5%，クロマツでは香川県で40.0%，愛媛県で48.7%，育種場で32.7%であった。昭和61年度は60年度より香川県では健全率が高く，愛媛県では低かった。これは検定に用いた家系の材線虫抵抗性の差だけでなく，苗畑の人工接種検定であったため気象条件，特に温度と雨量が検定結果に大きく影響したためと考えられる。

Table12. 一次検定合格木の自然受粉苗の人工接種検定結果

樹種	年度	機 関	苗 齢	接種家系数	人工接種検 定本数(本)	健全山行 本数(本)	健全山行率 (%)
ア カ マ ツ	60	育種場	2	13	780	363	46.5
		香川県	2	5	192	24	12.5
		愛媛県	2	6	1,118	747	66.8
	61	香川県	2	6	764	172	22.4
		愛媛県	2	7	692	369	53.3
	計			37	3,546	1,675	47.2
ク ロ マ ツ	60	育種場	2	8	568	186	32.7
		香川県	2	6	2,895	1,158	40.0
		愛媛県	2	12	2,338	1,138	48.7
	61	香川県	2	7	4,072	2,280	60.0
		愛媛県	2	11	857	325	37.9
	計			44	10,730	5,087	47.4
アカマツ，クロマツ合計				81	14,276	6,762	47.4

特別対策事業の選抜育種では人工接種検定後の健全苗を造林に供する事としているため，本事業の検定のようには対照のテーダマツの検定がなされていない。育種場では対照のテーダマツ苗の混合家系と精英樹混合家系を検定したので，その結果を用いて一次及び二次合格木の自然受粉苗の材線虫抵抗性を比較検討した。

昭和60年の検定によるテーダマツ苗5家系混合系統の健全率は42.6%，アカマツ精英樹苗10家系混合系統の健全率は24.1%，クロマツ精英樹苗10家系混合系統の健全率は17.8%であった。

(1) アカマツの一次及び二次合格木の自然受粉苗の人工接種検定

一次合格木26家系の2ヵ年間の人工接種検定による平均健全率はTable11のとりで47.3%，二次合格木8家系のそれは58.0%であった。一次合格木家系の機関別人工接種結果はTable12のとおりである。二次合格木家系の平均健全率はテーダマツより4.7%高く，精英樹家系のそれよりは23.2%高かった。二次合格木家系は1家系がテーダマツの健全率を下回ったが，平均健全率では15.4%高く，精英樹家系のそれと比較すると33.5%高かった。また一次合格木家系の平均健全率と比較しても10.7%高く，一次合格木について二次検定でさらに選抜した効果があったと認められる。また抵抗性に関しては無選抜の精英樹とは格段の差があり，大きな選抜効果を材線虫抵抗性原木の自然受粉苗でも確認した。二次合格木家系の健全率はFig.8のとおりである。一次及び二次合格木家系の健全率毎の頻度はFig.9のとおりである。

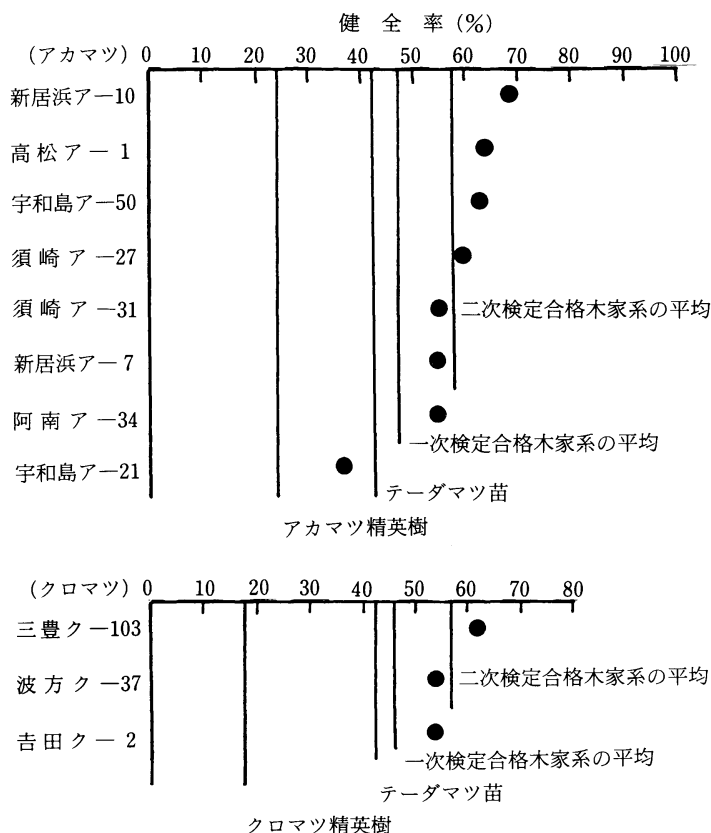


Fig. 8 二次検定合格木の自然受粉苗の人工接種検定における健全率

(2) クロマツの一次及び二次合格木の自然受粉苗の人工接種検定

一次合格木30家系の2ヵ年間の人工接種検定による平均健全率はTable11のとおりで46.6%，二次合格木3家系のそれは56.9%であった。一次合格木家系の機関別接種結果はTable12のとおりである。一次合格木の平均健全率はテーダマツのそれを4%上回り，精英樹家系のそれよりは28.8%高かった。二次合格木の人工接種検定は，わずかに3家系ではあったがテーダマツの健全率より14.3%高く，精英樹家系のそれと比較すると39.1%高かった。また一次合格木の平均健全率と比較しても10.3%高く，一次合格木を二次検定でさらに選抜した効果があったと認められる。また材線虫抵抗性に関しては無選抜の精英樹とは格段の差があり，

大きな選抜効果が材線虫抵抗性原木の自然受粉苗でも確認できた。二次合格木家系の健全率はFig.8のとおりである。一次及び二次合格木家系の健全率の頻度はFig.10のとおりである。クロマツはアカマツと比較して種レベルで材線虫抵抗性が低いといわれている²²⁾が、選抜された抵抗性原木の自然受粉苗の健全率の平均値の比較ではほぼ同じであった。

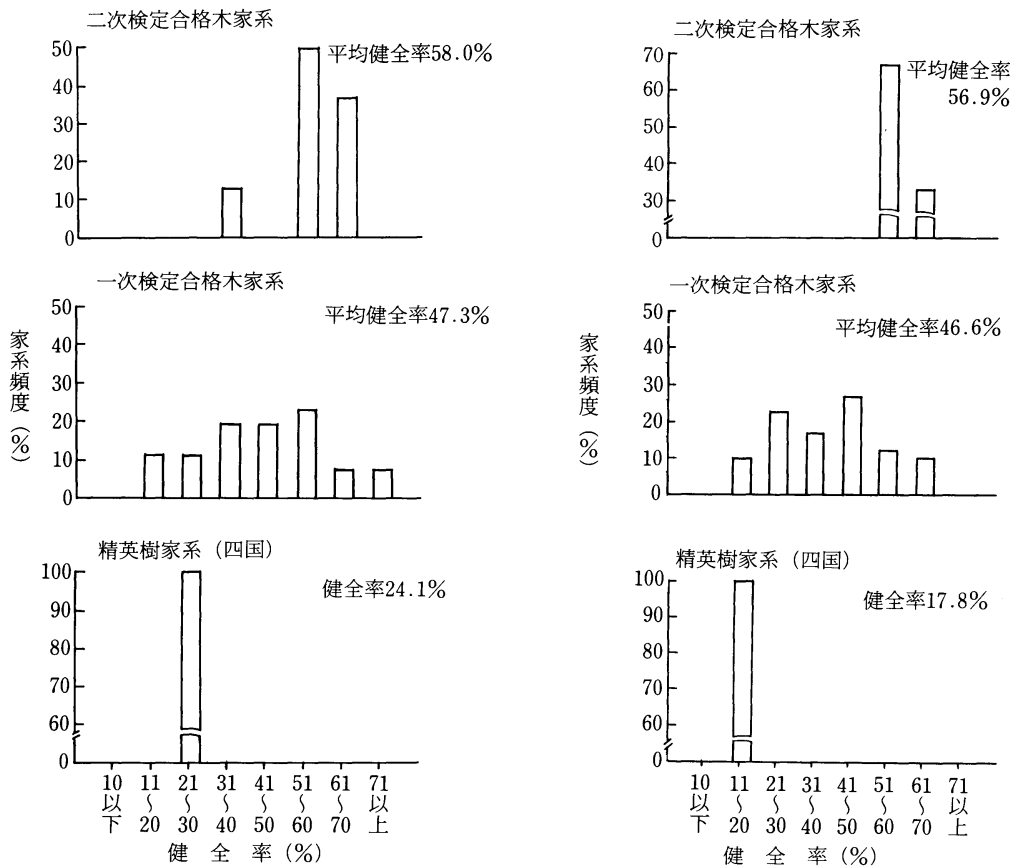


Fig. 9 アカマツの一次、二次検定合格木および精英樹の自然受粉苗の人工接種検定による健全率
Fig.10 クロマツの一次、二次検定合格木および精英樹の自然受粉苗の人工接種検定による健全率

以上のとおり一次及び二次合格木の母樹から直接採種して得られた自然受粉苗の材線虫抵抗性は無選抜集団と比較して格段に高かった。今回の試験では一次合格木より二次合格木の自然受粉苗の抵抗性が平均としては高かったが、一次合格木家系の中にも二次合格木家系より高い抵抗性を示した家系があった。

2. 材線虫抵抗性採種園の造成

育種場では選定した抵抗性クローンを用いてクローン集植所及び採種園用の原種の増殖を行ってきた。香川県と愛媛県が昭和62年度末に育種場から原種の配布を受けて材線虫抵抗性採種園を設定した。クロマツは四国で選定したものが7個体で、これらのクローンだけで採種園を造成するには不足するので、九州と和歌山県で選定した9クローンを加えて設定した。それでも採種園に使用できるクローンは16であったが、クローンの配置は25型の設計で造成している。アカマツは四国で選定したものが15個体で、これらのクローンだけで採種園の造成は行わず、遺伝変異を広く保つためと、自家受粉の機会を少なくするために関西の瀬戸内地区と九州で選定した材線虫抵抗性クローンを合わせて採種園を造成している。

四国における材線虫抵抗性採種園の造成実績と今後の予定はTable13のとおりである。これによると県ではアカマツ1.5ha、クロマツ0.5haが造成される。この他育種場でも62年4月に場内に採種園を設定した。構成はアカマツについては84クローン、168本、0.12ha、クロマツについては16クローン、84本、0.06haの小規模なものである。

Table13. 材線虫抵抗性採種園の造成実績 (ha)

区 分	62 年 度			64年度（予定）			合 計		
	アカマツ	クロマツ	計	アカマツ	クロマツ	計	アカマツ	クロマツ	計
香 川 県	0.50	0.50	1.00	0.50		0.50	1.00	0.50	1.50
愛 媛 県	0.50		0.50				0.50		0.50
計	1.00	0.50	1.50	0.50		0.50	1.50	0.50	2.00

育種場の材線虫抵抗性採種園の着花及び着果状況を昭和63年3月雄花について、6月には当年に受粉した幼球果について調査した。その結果雄花はアカマツ、クロマツともに1個体当りの着花量は少なかったが、アカマツでは30%、クロマツでは70%のクローンに着花が確認された。幼球果は1個体当りアカマツは4.1個、クロマツは4.5個着果していた。このことからこの採種園の設定直後から少量ではあるが種子は生産されると期待できる。

関東林木育種場でのアカマツ精英樹採種園の調査ではha当り400本の密度に相当する5m区での11生長期の採種木1本当りの球果の着生量はほぼ250個であった。これに1球果当りの種子重量0.3gをかけてha当りの種子生産量を算出すると30kgとなった²³⁾。このことから抵抗性の採種園も十分な管理が行われると設定後10年頃から林野庁の基準生産量の30kg/haに達すると予測される。

四国の担当県において昭和70年代前半にこれらの材線虫抵抗性採種園から生産される種子量はアカマツ45kg、クロマツ15kgと予測され、年間の造林可能面積はアカマツ375ha、クロマツ110ha程度となる。

VI. 関西林木育種場四国支場における材線虫抵抗性育種に関する研究業績

育種場では本事業を推進するための技術開発に取り組んできた^{20,27)}。昭和53年以降本事業に関連して公表された育種場の成果は10編である。人工接種検定法²⁶⁾、材線虫の産地による加害性の強さの違い⁹⁾、材線虫の人工培養法⁸⁾等について検討した。また材線虫抵抗性候補木及び精英樹の材線虫抵抗性検定の実施結果がある^{10,29)}。クロマツとタイワンアカマツの種間雑種（和華松）等の抵抗性の材線虫人工接種検定^{17,28)}及び現地適応性の調査³⁾も行ってきた。

今後は材線虫抵抗性の遺伝様式の解明と、同抵抗性系統の特性調査を進めるとともに、材線虫抵抗性と生長量、材質等の望ましい形質を複合して備える新しい品質の創出などについて検討する予定である。

付記. 機関別の「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」の担当者氏名一覧

関西林木育種場四国支場の担当者名及び担当事項

氏 名	担当年度	事前検討 実施計画	選抜増殖	人工接種検定
小 笠 原 健 二	51-60	○	○	○
竹 内 寛 興	51-	○	○	○
大 黒 正	51-	○	○	○
岡 村 政 則	51-	○	○	○
半 田 孝 俊	61-		○	○
野 崎 清 光	51-55	○		
国 沢 豊 純	51-55	○	○	○
時 信 憲 義	55-57	○		
立 仙 雄 彦	55-60	○	○	○
大 谷 明 己	58-60	○		
上 田 利 文	60-62	○		
小 松 伸 哉	53-58		○	○
浜 田 泰 秀	53-55		○	○
都 築 誠 二 郎	53-		○	○
川 島 岩 夫	53-56		○	○
北 岡 正 章	53-61		○	○
安 丸 敬 介	55-57		○	○
田 村 育 久	57-		○	○
新 谷 恭 三	58-		○	○
耕 崎 巖	60-62		○	○
岩 崎 準	62-		○	○

事業実行県の担当者名（氏名は順不同である。（ ）の数値は担当年度）

愛媛県

高市義治 (51-53), 宮本俊一 (54-56), 藤井和郎 (57-59), 黒田康典 (60), 大野良樹 (61), 長野加雄 (62), 脇坂晴主 (51-54), 正岡喜久利 (55), 山本幸雄 (56), 清水千尋 (57-59), 席谷教見 (60-62), 渡部高夫 (51-52), 武田 嵩 (51-58), 新家秀夫 (53-54), 中矢 実 (55), 山本幸雄 (55), 岸田英夫 (56), 席谷教見 (56-59), 海部 茂 (57), 菅 俊郎 (58-60), 山口 孝 (59-60), 頼本 豊 (60), 清家 斉 (61-), 永井 博 (61-), 竹智 勇 (61), 近藤三郎 (51), 松友 久 (52-53), 原 節夫 (54-57), 松本剛志 (58-60), 土岐孝夫 (61-)

愛媛県林業試験場

大野 紀 (51-54, 57), 脇坂晴主 (55-56), 渡辺秀彦 (58), 近藤清暢 (59-61), 頼本 豊 (62), 得居 修 (51-)

高知県

大崎勘助 (51-55), 中内 大 (56), 窪田敬一 (57-59), 岡林章夫 (60-62), 鍋島正稔 (51), 北山志行 (52), 谷口純平 (53-55), 元吉 明 (54-56), 畠中三男 (57-58), 中川展彰 (56-59), 山口正望 (60-61), 後藤隆一 (62), 今井秀寿 (51), 前田 功 (52-53), 江口俊男 (59-62), 山添康雄 (51-52), 田内 泉 (53-54), 十萬喜隆 (55), 坂本開作 (56), 今窪幸徳 (57-58), 芝田和夫 (54, 59-62), 影山義男 (51), 江淵幹夫 (52), 小味章秀 (53), 西村英昭 (55-57), 松本 誓 (58-60), 伊東文夫 (61-62)

高知県林業試験場

梶原義男 (51), 北村博夫 (52), 橋詰寿男 (53-59), 入交幸三 (51-52, 60-61), 竹崎美秋 (53-60), 伊東祐道 (53-55, 61-), 中沢義明 (51-52), 田内 泉 (56-59), 松尾文昭 (61-), 田村敏男 (51-)

協力県の担当者名 (氏名は順不同である () の数値は担当年度)

香川県

金藤藤夫 (53-55), 植松龍太郎 (56), 横井 宏 (57-58), 黒川美穂 (59), 加見雅信 (60-61), 片岡 稔 (62-), 益田郁夫 (53-54), 真鍋雄二 (55-57), 穴吹浩之 (58-60), 佐々木敬介 (61-62)

香川県林業指導所

岩瀬 恵 (53-54), 松原経計 (55-60), 篠畑嘉信 (61), 星川繁広 (62), 横井 宏 (63-), 片岡 稔 (53-55, 60-61), 小野 洋 (56-59), 加見雅信 (62-)

徳島県

森 勝 (53-55), 増富 光 (56), 高橋昌隆 (53-56, 57-59), 菅野良作 (60), 梅崎康典 (57-58), 枝川義武 (59), 山根 誠 (60)

引用文献

(* は関西林木育種場四国支場における研究業績である)

- 1) 愛媛県：マツノザイセンチュウ抵抗性育種調査事業報告書 (公文書), p 4, (1976)
- 2) 花野和夫：松くい虫薬剤駆除事業効果, 森林防疫18 (212), p 209, (1969)
- 3) 半田孝俊・竹内寛興・大黒 正：四国における和華松等の植栽地及び生育状況, 関西林育四国支年報25, 89-96, (1987)
- 4) 岩瀬 恵・植松龍太郎他11名：マツノザイセンチュウの地理的分布に関する調査, 香川県林業指導所試験研究成果4, 1-10, (1973)
- 5) 岩瀬 恵・植松龍太郎他11名：マツノザイセンチュウの地理的分布に関する調査, 香川県林業指導所試験研究成果 6, 1-12, (1974)
- 6) 高知営林局：松くい虫防除の現状 (内部資料), 1-34, (1981)
- 7) 高知県：マツノザイセンチュウ抵抗性育種調査事業報告書 (公文書), 4-5, (1976)
- 8) 国沢豊純・竹内寛興・大黒 正・岡村政則：採集場所を異にしたマツノザイセンチュウの増殖, 54年度関西林育四国支年報, p 36, (1980)
- 9) 国沢豊純・竹内寛興・大黒 正・岡村政則：マツノザイセンチュウの採集場所別加害状況, 54年度関西林育四国支年報, 36-37, (1980)
- 10) 国沢豊純・竹内寛興・大黒 正・岡村政則：アカマツ, クロマツ精英樹クローンの抵抗性検定, 54年度

関西林育四国支年報, 37-40, (1980)

- 11) 前田敏機：マツノザイセンチュウ抵抗性松供給特別対策事業，林木の育種**129**, 7-8, (1983)
- 12) Masaya ISHIKAWA, Akira KANEKO, Tsukasa KASHIWA & Hiroyasu WATANABE : Participation of β -Myrcene in the Susceptibility and /or Resistance of Pine Trees to the Pine Wood Nematode, *Bursaphelenchus xylophilus*, Agric. Biol. Chem., 51 (12) , 3187-3191, (1987)
- 13) 松田正治：マツノザイセンチュウ，マツノマダラカミキリの実態調査，48年度愛媛県林試業務報告，91-122, (1974)
- 14) 松田正治：マツノザイセンチュウ，マツノマダラカミキリの実態調査，愛媛県林試研報1，35-62, (1975)
- 15) 松枯れ問題研究会編：松が枯れていくこの異常事態への提言，山と溪谷社，251pp, (1981)
- 16) 森本 桂・岩崎 厚：マツノザイセンチュウ伝播者としてのマツノマダラカミキリの役割，日林誌**54**(6)，177-183, (1972)
- 17) *小笠原健二・竹内寛興・大黒 正・岡村政則：マツノザイセンチュウ抵抗性育種交雑苗及び外国産マツ類における抵抗性検定，55年度関西林育四国支年報，P51, (1981)
- 18) 大庭喜八郎：マツノザイセンチュウ抵抗性育種，林木の育種**81**, 10-12, (1973)
- 19) 大庭喜八郎：マツノザイセンチュウ抵抗性育種，林木の育種**99**, 1-6, (1976)
- 20) *大庭喜八郎・藤本吉幸・古越隆信・岡田 滋・小笠原健二：マツノザイセンチュウ抵抗性育種，育種学最近の進歩**24**, 90-101, (1983)
- 21) 林業試験場四国支場保護研究室：四国の松くい虫（1），高知林友**429**, 2-12, (1952)
- 22) 佐々木研・古越隆信・佐々木常夫：マツ属10種のマツノザイセンチュウ抵抗性，林木の育種特別号，35-38, (1978)
- 23) 重松あや子：アカマツ実験採種園の種子生産経過，関育年報**14**, 101-117, (1982)
- 24) 高橋昌隆・西又文喜：マツノザイセンチュウ，マツノマダラカミキリの実態調査（第1報），徳島県林試研報**12**, 41-53, (1974)
- 25) 高橋昌隆・吉永忠義：マツノザイセンチュウ，マツノマダラカミキリの実態調査（第2報），徳島県林試研報**13**, 12-22, (1975)
- 26) *竹内寛興・岡村政則・大黒 正・国沢豊純：マツノザイセンチュウの人工接種試験方法について，林木の育種特別号，33-35, (1978)
- 27) *竹内寛興・大黒 正・岡村政則・小笠原健二：マツノザイセンチュウ抵抗性，国有林野事業に関する技術開発研究考案発表集，108-112, (1981)，高知営林局
- 28) *竹内寛興・小笠原健二・大黒 正・岡村政則：マツノザイセンチュウ抵抗性育種 種間交雑苗木（マツ類）の接種検定，57年度関西林育四国支年報，65-66, (1983)
- 29) *竹内寛興・大黒 正・岡村政則・小笠原健二：マツノザイセンチュウ抵抗性育種 四国における二次検定合格木，59年度関西林育四国支年報，77-78, (1985)
- 30) 徳重陽山・清原友也：マツ枯死木中に生息する線虫 *Bursaphelenchus* sp., 日林誌**51** (7), 193-195, (1969)
- 31) 和田豊洲：四国の植物分布とその生態，高知営林局，573pp, (1973)
- 32) 吉岡邦二：日本松林の生態学的研究，林業技術叢書**20**, 5-7, (1958)

Selection of Resistant Pine Trees to the Pine-wood Nematode in Shikoku

Hirooki TAKEUCHI⁽¹⁾, Takatoshi HANDA⁽²⁾, Tadashi OHGURO⁽³⁾ and Masanori OKAMURA⁽⁴⁾

Summary

In Shikoku region, severely damaged pine forests by the pine wood nematode(*Bursaphelenchus xylophilus* (STEINER *et* BUHRER) NICKLE) have been increased since 1972.

Breeding project for resistance to the nematode, as the national project, was started in 1978 in cooperation with three national Forest Tree Breeding Institutes and fourteen prefectural organizations. In Shikoku region, Shikoku Branch, Kansai Forest Tree Breeding Institute(Shikoku Branch), Ehime and Kochi Prefectures were joined to the project. Procedures of this project and information accumulated by developmental researches are as follows.

I. Procedure of the project.

1. Selection of resistant candidate trees.

Pine stands for selection of candidate trees were as follows: Altitude—should be lower than 200 m above sea level in Setouchi area of northern Shikoku and lower than 300m in southern Shikoku. Distance from the coastline—should be within 4km for Japanese black pine(*Pinus thunbergii* PARL.) and 25 km for Japanese red pine (*P. densiflora* SIEB. *et* ZUCC.). The surviving ratio of the vigorous trees remaining in the damaged stand—should be lower than 10 %.

The number of selected resistant candidate trees were 1582 for red pine, and 3,062 for black pine.

2. Primary inoculation test of the pine wood nematode.

Twenty scions from each candidate tree were grafted in three organization's nurseries from late January to early March, and ten of the successful grafts were transplanted into pots till the following March.

The primary inoculation of the pine wood nematode was conducted in the second year using ten ramets from each candidate tree in green houses. Two-year-old loblolly pine(*P. taeda* L.) seedlings were treated identically as the check. Two-year-old leader shoot of each scion was peeled its bark by 1 cm × 5 cm in area and scratched by knife and small saw just like a scar being made by feeding of adult Japanese pine sawer (*Monochamus alternatus* HOPE), and then 0.1 ml inoculum suspension with 10,000 nematodes of "Shimabara" pathotype was dropped onto the peeled part in each testify ramet by a micro-pipet. The pathotype of the nematode called "Shimabara" was collected at Shimabara district in Nagasaki prefecture by Kyushu Forest Tree Breeding Institute. Then the nematode "Shimabara" was cultivated at Shikoku Branch and was distributed Ehime and Kochi prefectural organizations for the primary inoculation test.

(1), (2), (3), (4) : Shikoku Branch, Kansai Forest Tree Breeding Institute

Shikoku Branch and two organizations surveyed the number of surviving grafts and of sound grafts in every second week. Result of the survey in the eighth week was compared with that of loblolly pine seedlings. The clones superior to loblolly pine in survival or soundness judged to be passed the primary inoculation test. As the result of the primary inoculation test, 216 clones of red pine and 106 clones of black pine have successfully passed the test.

3. The secondary inoculation test and registration of resistant clones to the pine wood nematode

Using twenty rametes of the candidate trees which passed the primary inoculation test, the secondary inoculation test was duplicated again in following July after grafting at Shikoku Branch by the same way of the primary inoculation test. As the result of the secondary inoculation test, 15 red pine and 7 black pine clones were registered as resistant clones to the pine wood nematode.

II. The result of analysis of data and information obtained.

1. The resistance of red pine to the pine wood nematode was higher than that of black pine.

2. In the primary inoculation test, the passing rate of the candidate tree was higher in the candidate trees selected from the stands in which survival rate was very low as 1 %.

3. The two-year-old open pollinated progenies of the ortet trees which passed the primary inoculation test were inoculated. And two-year old open pollinated progenies of plus trees which were unselected on the resistance to the pine wood nematode were inoculated identically. The survival ratio of the former was much higher than that of the latter. It is confirmed that the character of resistance to the pine wood nematode is heritable