

九州におけるマツノザイセンチュウ抵抗性育種
—抵抗性クローンの選抜後の研究経過—

戸田忠雄⁽¹⁾・田島正啓⁽²⁾

西村慶二⁽³⁾・竹内寛興⁽⁴⁾

Tadao TODA, Masahiro TAJIMA, Keiji
NISHIMURA and Hirooki TAKEUCHI

Breeding Projection on Resistance to the
Pine-Wood Nematode in Kyushu district
—Progressivl study after select Resistance clone—

要 旨：1984年にアカマツ92，クロマツ16，計108本の材線虫抵抗性個体が決定された。これらは現在全国21府県，34箇所の抵抗性採種園で用いられており，すでに種子が生産されつつある。しかし，抵抗性クローンの着花性，種子生産性，実生後代の抵抗性など諸特性に関し不明な部分が多い。これらを解明することで今後より効率的な採種園の育成管理ができる。本報は林木育種センター九州育種場に設定した抵抗性クローン集植所において調査した一部をまとめたものである。幼齡時におけるクローンの成長はクロマツがアカマツに比べて旺盛な生育を示し，クローン間の順位変動はアカマツが大きくクロマツは比較的安定している傾向にある。従って採種木の樹形誘導（断幹）を5mで実施するとした場合は7年生でアカマツの約4割が，またクロマツは約8割がその対象となる。着花特性の雌花はアカマツが2年生から着生し，4年生には全クローンが着生したのに対してクロマツは6年生で約8割のクローンが着生したにすぎない。しかもこれまでの調査期間中に一度も着生しないものがクロマツでは2クローンが認められた。雌花着生量は年及びクローンによって変動があり，アカマツでは特に7年生で著しい低下となった。クロマツは年変動が少ない傾向にあるがアカマツに較べて低い水準であり，樹齡による増加も緩慢である。一方，雄花はアカマツに較べてクロマツの着生量が著しく低く，採種園における花粉不足が示唆された。各クローンの雌雄花の着生量の年次相関が高いことから着花性はクローンの遺伝的特性の可能性が高い。種子生産量は，クロマツが低く，結果率はアカマツで85.7%クロマツは70.0%前後である。球果当りの種子粒数はアカマツ14.7粒，クロマツ5.8粒となり，樹齡を考慮しても一般のマツに較べて劣る。球果重と種子重及び種子粒数の間には高い相関関係があり，種子生産量の向上は採種木の仕立て方，育成方法の改善などによって期待できる。抵抗性クローンの実生後代はこれまでどおりアカマツがクロマツより高い抵抗性を示した。これまでの人工接種検定では両樹種とも抵抗性家系が高い生存率を示し，選抜効果が認められるが年によって変動し家系抵抗性の再現性は低い。この原因は抵抗性以外の環境要因が関与している可能性が高い。このため家系抵抗性の把握にはさらにデータの蓄積が必要である。アカマツ抵抗性クローンの中には針葉の樹脂道，冬芽の色など内部及び外部特性がクロマツに著しく近いクローンが確認され，アカマツとして利用すれば自然雑種の可能性が，またクロマツとして利用すれば抵抗性の向上が期待される。抵抗性採種園から本格的な種苗が生産されるまでの間，接種検定後の残存苗を造林に用いる方が安全である。また，クローン特性が明らかでない部分もあり，継続した調査研究が必要である。

目 次

I はじめに	39
II 材線虫抵抗性クローンの諸特性	39
1 材線虫抵抗性クローン集植所の設定及び採種園等における被害	39
2 樹 高 成 長	41
3 着 花 性	44
1) 雌花着花性	44
2) 雄花着花性	49
4 雌花及び雄花の開花時期	52
5 種子生産性	54
6 抵抗性クローンの実生後代の抵抗性	58
1) 1990年の接種検定結果	58
2) 1991年の接種検定結果	59
3) 1992年の接種検定結果	62
4) 接種検定のまとめ	62
7 抵抗性クローンの雑種性	67
1) 樹脂道指数から見た抵抗性クローンの樹種区分	67
2) 雑種性の利用	69
III 抵抗性種苗の生産体制	72
1 九州地区の抵抗性マツの生産	72
2 検定地の違いによる検定結果	73
3 接種後の残存率の抵抗性	74
IV お わ り に	76
引 用 文 献	77
Appendix Table 抵抗性クローン特性一覧表	

I はじめに

明治38年九州地区でマツの集団枯損が発生して以来、九州はもとより兵庫、岡山近辺など温暖な低海抜地域を中心に拡大し、今日ではこれまで被害が見られなかった高海拔地域や北陸、東北地方にまで及んでいる。ここ2～3年減少傾向であった被害量は1991年には115万㎡で前年度に比べ22%増加しており、再び100万㎡の水準となった。特に1992年は夏期の高温と雨不足に加えて台風の影響も重なり、マツノザイセンチュウ (*Bursaphelenchus Xylophilus* (STEINER et BUHRER) NICKLE, 以下便宜上可能なかぎり材線虫と略記) と潮害の複合害が各地で発生している。鹿児島県の吹上浜では1万4千㎡、本数にして約4万本とも言われる集団枯損となっている。被害形態も以前とは異なり、これまで林分上層木の壮・老樹が被害を受けていたが、近年は若齢小径木にまで及んでおり、材積だけでは論じがたい面もある。

こうした被害はマツ材の生産ばかりでなく、林分としての防風、飛砂防止、水源かん養など公益的機能の低下、さらに景勝地の景観構成を損なっているケースもあり、社会的な問題となっている。また、各地の有名マツも例外ではなく、九州地方の場合、日向アカマツ(宮崎県)や霧島マツ(鹿児島県)等も被害を受けている。このうち、牛根松(鹿児島県)や茂道松(熊本県)さらに屋久島、種子島に分布するヤクタネゴヨウ (*P. Armand* FRMANDI. var. *amamiana* HATUSIMA) のように消滅の危機さえある在来種もあり⁹⁾、遺伝資源保存の面からも波紋をなげかけている。

こうした被害跡地は3～5年で低木の広葉樹等が繁茂し、一応緑で覆われるが、今後、コナラ属 (*Quercus* L.), シイ属 (*Castanopsis* Spach.), クスノキ属 (*Cinnamomum* Boehmer) 等による樹種転換で保護林の造成も計画されている。一方では立地的にマツしか生育しない花崗岩地帯や、景勝地がマツ林である地域等はマツノザイセンチュウ抵抗性種苗の早期供給が望まれている。

西日本の14県と九州林木育種場(現、林木育種センター九州育種場)、関西育種場(現、同関西育種場)同四国支場(現、同関西育種場四国事業場)の合計17機関において1978年から開始されたマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業⁹⁾ではアカマツ (*Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.) 92, クロマツ (*P. thunbergii* PARL.) 16, 計108の抵抗性クローンが選抜された。これらは全国21府県の「抵抗性採種園」で用いられており、本格的な抵抗性種苗の生産段階に入りつつある。現在これらの抵抗性クローンは九州育種場構内のクローン集植所において実生後代の抵抗性、着花性、種子生産性などの諸特性について調査中である。本報はこれらについて中間的な結果ではあるがとりまとめたものである。

なお、真夏の炎天下での接種検定と特性調査に際し御協力いただいた九州育種場長はじめ職員の方々に厚くお礼申し上げる。

II 材線虫抵抗性クローンの諸特性

1 抵抗性クローン集植所及び採種園における被害

抵抗性クローンは「材線虫抵抗性」を目標形質として選抜されたため、実生後代の抵抗性をはじめ成長、着花性、種子生産性のほか他の病虫害抵抗性については明らかにされていない。特に実生後代の抵

抗性と着花性は採種園の維持管理, 抵抗性種苗の普及上重要な要因であり, 早急に解明しておく必要がある。各クローンの特性評価は九州育種場内に設定した「抵抗性クローン集植所」で行い, 結果はその都度報告してきた(2, 3, 5, 22, 42, 45, 46)。

同集植所に用いた苗木は1985~1986年につき木を行い, 1986~1987年に定植したものである。植え付けは列間3.0×苗間1.0mの列状植栽で, クローン当り7~10本である。定植3~4年目(以下断わりのない限り定植後の成長期間数で○年生と記載)には隣接木と枝が触れ合い過密な状態になったので7年生時の1992年4~5月に調整伐を行いクローン当り6本とした。なお, 病虫害防除は発生の都度実施した。Table 1に同集植所の構成クローン数と個体数の経年推移を示した。

Table 1. 抵抗性クローン集植所における個体推移
Transition of individuals in clone bank

年 度 Year		1987	1988	1989	1990	1991	1992
クローン数	アカマツ	76	92	92	92	92	92
No. of clones	<i>P.densiflora</i>						
	クロマツ	15	16	16	16	16	16
	<i>P.thunbergii</i>						
個 体 数	アカマツ	571	839	830	823	819	569
Individuals	<i>P.densiflora</i>						
	クロマツ	130	126	155	153	149	97
	<i>P.thunbergii</i>						

設定時から1992年5月までの間に折損や枯損した個体はアカマツ22, クロマツ7個体である。このうち風等による折損が原因で枯損した個体は除き, 残りの個体については材線虫の確認を行った。その結果, 1989年に大分ア-111の1個体, 1990年に大分ア-168の2個⁴³⁾, そして1992年には久留米ア-118, 佐賀関ア-108, 川内ク-290の

各1個体, 計5クローン6個体から材線虫が検出された。

また, 熊本県の抵抗性採種園でも1992年に大瀬戸ク-12の3個体, 志摩ク-64, 大分ク-8, 夜須ク-37の各2個体, 小浜ク-24, 川内ク-290, 波方ク-37の各1個体, 計7クローン12個体が枯損した。同様に鹿児島県でも川内ク-290, 夜須ク-37の各々3個体, 波方ク-37の2個体, 田辺ク-54の1個体, 計4クローン9個体が枯損しており, これらはいずれも材線虫が確認されている。抵抗性クローンが材線虫によって枯損する原因はいくつか考えられる。その一つは, 抵抗性がテータマツ以上という一定の基準で選定されており各クローンの抵抗性にはかなりの変異がある⁴⁾。九州育種場のクローン集植所, 熊本, 鹿児島両県の採種園では健全木にもマツノマダラカミキリの後喰痕が無作為的に多数見受けられる。こうした中であって低位の抵抗性クローンはダメージを受け易いことは言うまでもない。他の一つの原因は抵抗性クローンはつぎ木であり, つぎ木不親和性の発現である。例えば, 先述の大分ア-111の枯損個体は, 台木部位とつぎ穂部位の直径の比率が1.32, 同様に大分ア-168はA個体が1.46, B個体が1.73といずれもつぎ穂部が肥大しており, しかも大分ア-111では10個体中6個体が, また, 大分ア-168も10個体中6個体がつぎ木部位にヤニが浸出するなど正常でない個体を確認している⁴⁹⁾。そのほか台風等の影響による障害, 材線虫以外の病虫害に侵される等生理的に不健全なクローンや個体では一定の抵抗性は発揮されても降水量, 気温など環境条件が著しく厳しい場合は枯損につながるケースも考えられる。

2 樹 高 成 長

抵抗性クローンは選抜林分のなかで比較的成長の優れた個体を対象としたが、選抜地の残存率が著しく低い場合には形質の劣る個体も選抜された可能性もある。樹高成長は抵抗性クローンの実生後代の成長に関連する特性でもあり、また、採種園の管理、特に採種木の樹形誘導時における断幹時期の目安となる。

Table 2. 定植6年目における抵抗性クローンの成長(単位cm)
Tree height growth of resistance clone during 6 years after planting (cm)

樹種	調査年	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Species	Survey years						
	Ages	2	3	4	5	6	7
種	個体数	423	421	418	415	409	282
	No. of individuals						
総平均		130	191	277	359	425	476
Total average							
クローン平均最大		167	247	398	513	579	613
Max. average of clone							
ア	同上クローン名	熊本ア-16	久留米ア-78	大分ア-142	大分ア-142	大分ア-142	大分ア-142
	Name of clone showing above	Kumamoto(d)-16	Kurume(d)-78	Ooita(d)-142	Ooita(d)-142	Ooita(d)-142	Ooita(d)-142
カ	クローン平均最少	90	132	191	235	269	308
	Min. average of clone						
マ	同上クローン名	佐賀関ア-84	佐賀関ア-90	佐賀関ア-90	佐賀関ア-90	佐賀関ア-90	佐賀関ア-90
	Name of clone showing above	Sagano-seki(d)-84	Sagano-seki(d)-90	Sagano-seki(d)-90	Sagano-seki(d)-90	Sagano-seki(d)-90	Sagano-seki(d)-90
ツ	個体最大	212	285	435	567	657	710
	Max. height of individual						
45	同上クローン名	久留米ア-78	久留米ア-78	大分ア-142	大分ア-142	大分ア-142	大分ア-142
	Name of clone showing above	Kurume(d)-78	Kurume(d)-78	Oita(d)-142	Oita(d)-142	Oita(d)-142	Oita(d)-142
ク	個体数	66	66	66	66	66	41
	NO. of individuals						
総平均		122	203	284	378	464	526
Total average							
クローン平均最大		171	254	336	446	549	628
Max. average of clone							
ク	同上クローン名	小浜ク-24	小浜ク-24	小浜ク-24	小浜ク-30	小浜ク-30	小浜ク-30
	Name of clone showing above	Obama(t)-24	Obama(t)-24	Obama(t)-24	Obama(t)-30	Obama(t)-30	Obama(t)-30
マ	クローン平均最少	99	158	207	274	345	382
	Min. average of clone						
ツ	同上クローン名	志摩ク-64	志摩ク-64	志摩ク-64	志摩ク-64	志摩ク-64	志摩ク-64
	Name of clone showing above	Shima(t)-64	Shima(t)-64	Shima(t)-64	Shima(t)-64	Shima(t)-64	Shima(t)-64
7	個体最大	212	290	410	505	621	710
	Max. height of individual						
ク	同上クローン名	小浜ク-24	小浜ク-24	小浜ク-24	小浜ク-30	小浜ク-30	小浜ク-30
	Name of clone showing above	Obama(t)-24	Obama(t)-24	Obama(t)-24	Obama(t)-30	Obama(t)-30	Obama(t)-30

ここでは九州地区で選抜されたアカマツ45, クロマツ7クローンについてクローン集植所における樹高成長をとりまとめた。

定植後の樹高成長の経年変化を Table 2 に示した。2年生でアカマツがクロマツの成長を若干上回るが、3年生からはクロマツの成長量が旺盛となり両者の差は樹齢とともに広がる傾向にある。両樹種の樹高の年平均伸長量は、アカマツは1988~'89年が86cm, '89~'90年は82cm, '90~'91年は66cm, '91~'92年は52cmである。一方クロマツは'88~'89年は81cm, '89~'90年は94cm, '90~'91年は86cm, '91~'92年は66cmであり、アカマツは3年生で、クロマツは4年生で著しい伸長量を示した。

アカマツについて1992年(7年生)の樹高を基準として各クローンの年度別樹高をFig. 1 に示した。

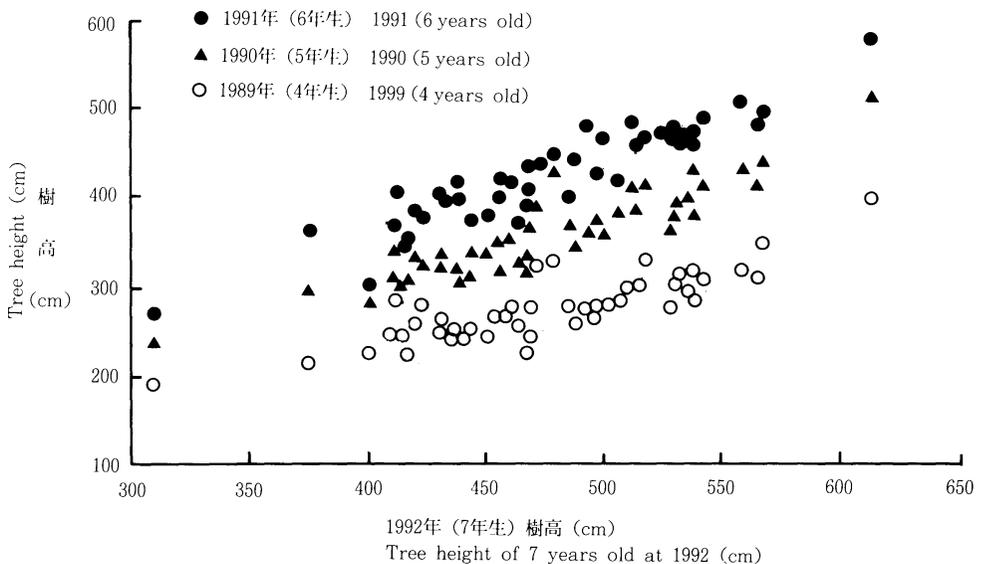


Fig.1 アカマツ抵抗性クローンの樹齢別樹高
Tree height of resistant clones of *P.thunbergii* at different ages
1992年(7年生)の樹高を基準とした
This figure shown based on tree height at 1992 (7 years old)

この中で最も左側にプロットされたものは佐賀関ア-90であり、右上は大分ア-14である。7年生と各年における樹高の相関係数は $r=0.902\sim 0.934$ といずれも有意であり、各クローンの初期段階の成長がそれ以降も継続している。しかし、先述のように年間伸長量がクローンによって異なるため総成長量の順位はかなり変動する。アカマツの上位、下位グループのいくつかのクローンと、クロマツ7クローンの順位変動をFig. 2 に示した。各年の順位はクロマツが比較的安定しているのに対して、アカマツの変動はかなり大きい。このことはアカマツにおけるクローン成長量の変異が大きいことに起因するものと考えられる。このような中においてアカマツの大分ア-142, 国見ア-53, クロマツの小浜ク-24, 同30, 川内ク-290等は各年とも上位に位置し、逆にアカマツの佐賀関ア-90, 同 118, 同84, クロマツの志摩ク-64, 津屋崎ク-50等は下位で安定したクローンである。志摩ク-64は樹高成長が緩慢なため枝密度が高い樹型となり、この特性を防風、防潮、高速道路の遮蔽に利用できるとしている^{17, 20, 40)}。

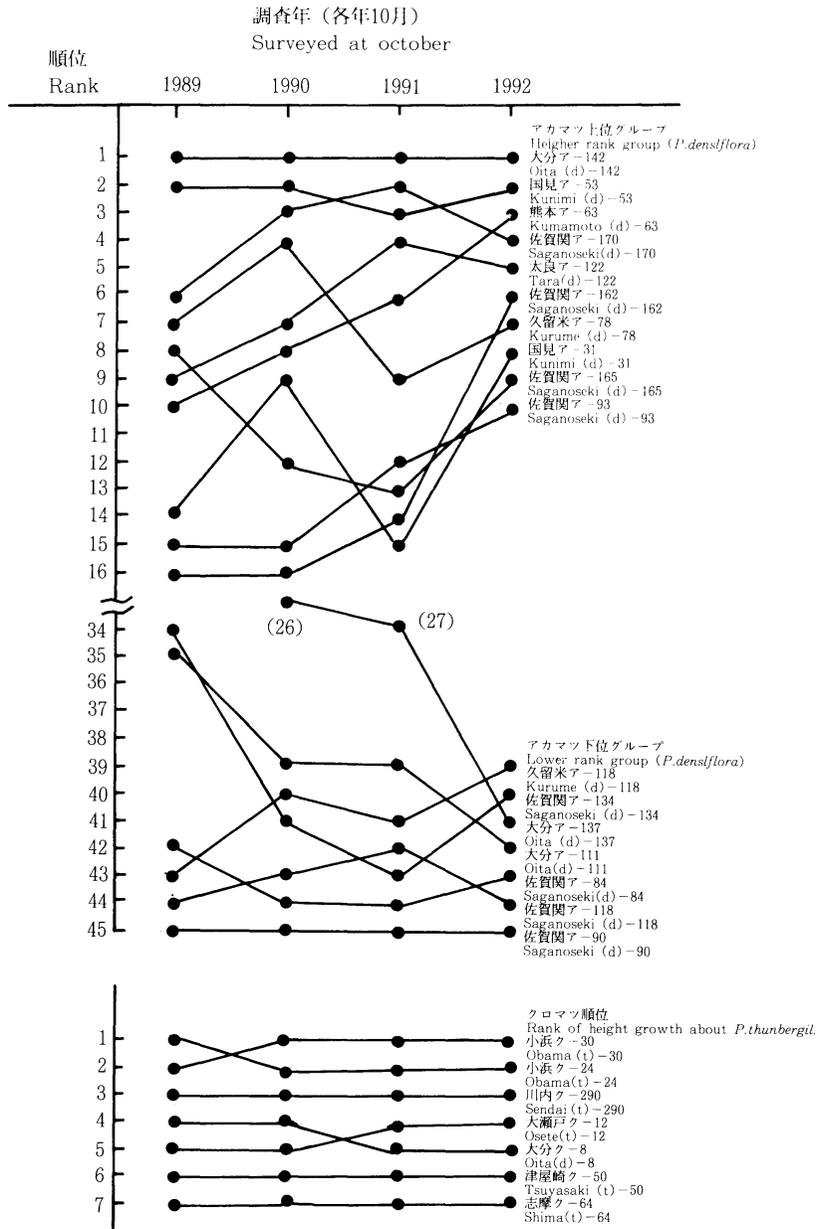


Fig.2 樹高成長の順位
Ranking of tree height growth

こうした成長量の違いはつき穂の良否やつぎ木ゆ合がその後の伸長に及ぼす影響も考えられるが、樹高は直径に比べて遺伝支配の割合が大きいとされていることから²⁾ 遺伝的特性であることが示唆された。

採種園管理では一定の高さで断幹(芯抜き)しなければならない。針葉樹の場合、頂芽優勢であるため低い位置で断幹すると幹に変わって枝が立ち上がる。カラマツでは6m前後の高さで安定するといわ

Table 3. 定植経過後の樹高頻度
Frequency of tree height after planting (cm)

樹種 Species	アカマツ (45クローン) <i>P.densiflora</i> (45 clones)				クロマツ (7クローン) <i>P.thunbergii</i> (7 clones)				
	調査年度 Survey year	1989	1990	1991	1992	1989	1990	1991	1992
定植後の年数 Years after planting	4	5	6	7	4	5	6	7	
～200	2.2								
201～300	71.1	6.7	2.2	2.2	71.4	14.4			
301～400	26.7	73.3	31.1	2.2	28.6	42.8	28.6	14.3	
401～500		17.8	62.2	60.0		42.8	28.6	14.3	
501～600		2.2	4.5	33.4			42.8	57.1	
601～				2.2				14.3	

れている¹⁶⁾。ここでは仮に5mで断幹するとして、各クローンの樹高成長から断幹時期を試算するとTable 3に示したように定植7年生(1993)ではアカマツが約4割(35.6%)、クロマツで約8割(75.4%)のクローンが断幹の対象となる。

3 着花性

抵抗性採種園は全国21府県に34箇所、17.50haが設定されている。この中にはマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業に参加しなかった関東、中部等を含む6府県も含まれており、抵抗性育種に対する関心の高さが伺われる。

抵抗性採種園の種子生産性は、構成クローンの着花性に左右される。雌花着生量は直接種子量に、雄花着生量は着果率、種子発芽率、及び実生後代の抵抗性等にも影響する。ここでは定植2年生(1987)～7年生(1992年)までの着花性についてとりまとめた。

調査対象クローン、個体数についてTable 4に示した。調査方法は各年とも4月中～下旬に行い、雌花は個体ごとに個数を数え、雄花は0及び1～5の指数評価とした。指数1はわずかに雄花が着いているもの、5はほぼ全てのシュートに着生しているものとし、その中間を3とした。

1) 雌花の着花性

雌花着生クローンと着生個体の経年的推移をFig. 3に示した。まず着生クローン数について見ると、両樹種とも2年生時の1987年から着生が見られた。そしてアカマツは4年生でほぼ全クローンが、クロマツは6年生で約8割のクローンが着生した。Fig. 3から明らかのように着生クローンの推移は樹種によって異なり、アカマツは初期段階から多数のクローン及び個体で着生するのに対して、クロマツの着生クローン率は特に4, 5, 6年生で緩やかな状況となり、アカマツのそれと比べて多少異なったパターンを示した。1992年まで一度も雌花の着生が見られなかったクローンは、クロマツの土佐清水ク-63、夜須ク-37の2クローンである。一方、着生個体率はクローン率の推移と多少異なり、アカマツは4年生、クロマツは6年生でピークが見られるが着生個体率と着生クローン率のピーク時はほぼ一致する。しかし、アカマツが約9割の個体で着生したのに対して、クロマツは約5割と著しく少ない状況であった。

Table 4. 抵抗性クローンの着花調査個体数
Number of individuals and clones which produced male or female flower

樹種 Specis		アカマツ <i>P.densiflora</i>						クロマツ <i>P.thunbergii</i>					
調査年 Survey years		1987	1988	1989	1990	1991	1992	1987	1988	1989	1990	1991	1992
クローン数 No. of clones		76	92	92	92	92	92	14	14	16	16	16	16
個体数 NO. of individual		571	839	830	823	819	569	128	128	155	153	149	97
maie flower 雌花	着生クローン数 No. of flowering clones	51	78	91	91	88	73	4	9	11	12	13	11
	同上クローン率 Rate of flowering clones	67.1	84.8	98.9	98.9	95.7	79.3	28.6	64.3	68.8	75.0	81.3	68.8
	着生個体数 No. of flowering individual	296	434	710	692	590	289	14	38	65	76	76	46
	同上個体率 Rate of flowering individual	51.8	51.7	85.8	84.1	72.0	50.8	10.9	29.7	41.9	49.7	51.0	47.4
	平均着生量 Value of female flower per individual	2.5	3.7	19.8	16.8	16.8	6.6	0.4	0.9	5.3	5.9	5.9	5.7
	着生クローン数 No. of flowering clones	34	75	85	87	88	84	3	9	8	12	13	9
	同上クローン率 Rate of flowering clones	44.7	81.5	92.4	94.6	95.7	91.3	21.4	64.3	50.0	75.0	81.3	56.3
	着生個体数 No. of flowering individual	103	456	604	614	710	446	13	46	28	73	81	24
	同上個体率 Rate of flowering individual	18.0	54.4	72.8	74.6	86.7	78.4	10.2	35.9	18.1	47.7	54.4	24.7
	平均着生量 Value of male flower per individual	0.3	1.4	1.5	1.5	2.6	2.3	0.1	0.8	0.2	0.7	1.0	0.3

雌雄花の着生量の経年推移をFig. 4 に示した。アカマツは3年生の1988年まで平均2.5~3.7個の低い水準で推移したが、4年生になって平均19.8個と調査期間中最も多量な着生を記録した。7年生の1992年は平均6.6個（前年比39.3%）と大幅な低下となった。この低下がアカマツの雌花着生の周期的なものなのか環境的なものなのかは明らかではないが、これまでの推移から凶作の年に当たっている可能性もある。一方、クロマツはアカマツほど大きな変動は見られない。着生量は5年目に平均5.9個まで増加したが、その後は低い水準で推移した。7年生でアカマツが大幅な低下であったのに対して、クロマツは5.7

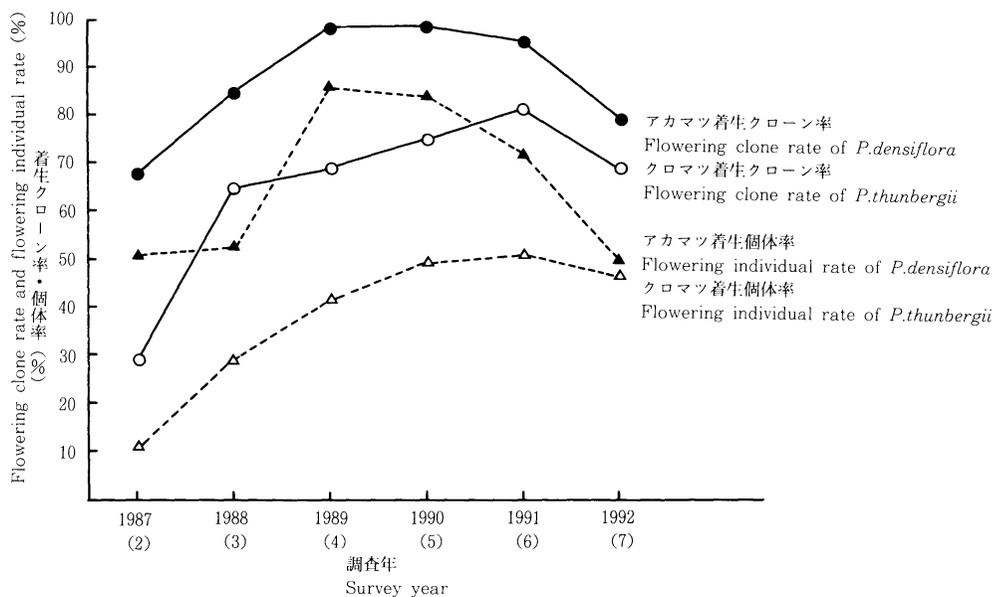


Fig.3 抵抗性クローンの雌花着生クローン率及び個体率の推移
Transition of female flowering rate of resistance clone
()は定植後の年数
():Years since planting

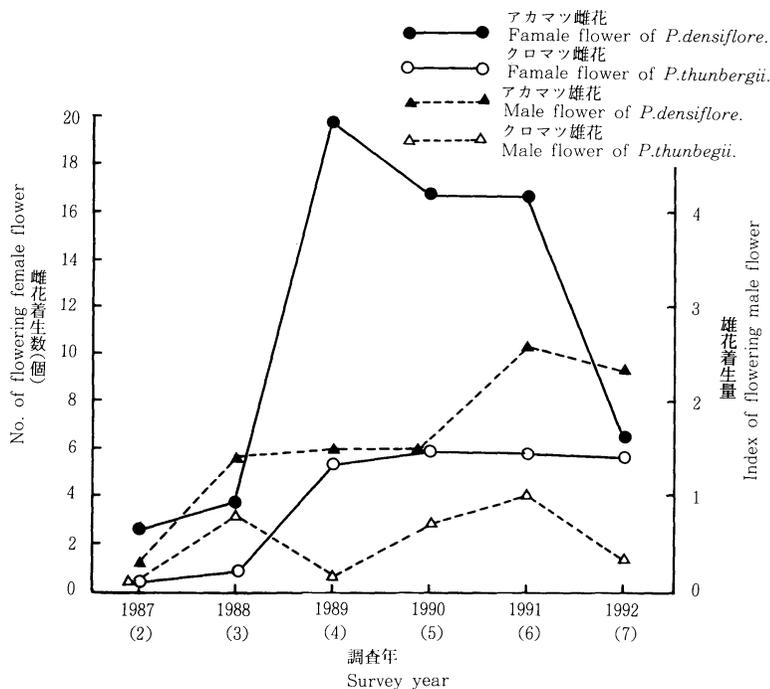


Fig.4 抵抗性クローンの雌雄花着生の推移
Transition of flowering rate of resistance clone
()は定植後の年数
():Years since planting
雄花の単位は指数評価値
No. of male flowers was indicated by index of 0-5

個(前年比96.6%)と低下は少なかった。一般に雌花の着生量はクロマツに較べてアカマツが多いといわれているが³⁹⁾、こうした樹種による着生量や着生時期の遅速は抵抗性種苗の生産量や供給時期にも影響すると考えられる。次に各クローンの年次別雌花着生量をFig. 5に示した。アカマツは1987~1992年における6年間の平均雌花数が10個以上の36クローンについて着生量をプロットした。1989年はこれまで最も着生量の多かった年であり、各クローンとも平均着生量よりやや高い雌花着生数を示している。逆に1992年は着生量が前年の39%と著しく少ない年であり、ほとんどのクローンが平均着生量より下回った。6年間の平均着生量と1989年及び1992年の相関係数はそれぞれ $r=0.917$, $r=0.893$ であり、いずれも有意な関係にあり、平均着生量をクローンの着花性とすれば、各クローン間の着花性は相対的に変動すると考えられるが、クローン内の年による変動幅は必ずしも一定ではないようだ。

こうした変異幅が認められる中において、着花性の著しく高いグループのクローンは各年における絶対量は異なるものの、相対的に安定した着生量を示した。例えば、松島ア-58では1989年は154.6個、1990年162.8個、1991年237.0個であり、着生の少なかった1992年でも114.7個の着生が認められた。このほかにも佐賀関ア-117、同108、熊山ア-25等があげられるが個体変動もかなり大きい。先述の松島ア-58も1991年に595個(51~595)の大量着生個体が見られたが、このクローンも個体間差の大きい一つである。逆に国見-17、熊山ア-119、宇和島ア-39等は毎年着生量が少ないグループに区分される。

一方、クロマツについて各年のクローン着生量を平均雌花数の多い順にプロットしてFig 6に示した。アカマツと同様にクローンによって年変動が認められるが、アカマツに較べると少ない傾向にある。このような年変動の原因は環境条件、着花の周期性、遺伝的要因等が関与していると考えられる。そこで各クローンの平均着生量の年次相関を見るとTable 5に示したように、アカマツでは全ての年次間で有意な相関関係が認められた。クロマツは1989~1992以外の各年次間の相関係数はいずれも有意であり、雌花着生量はクローンの遺伝的特性であることが示唆された。

Table 5. 着花性の年次相関
Correlation coefficient of flowering between year
アカマツ *P. densiflora*

	1988	1989	1990	1991	1992
1988		0.841 **	0.797 **	0.854 **	0.728 **
1989	0.671 **		0.893 **	0.813 **	0.692 **
1990	0.754 **	0.669 **		0.898 **	0.823 **
1991	0.597 **	0.558 **	0.784 **		0.913 **
1992	0.612 **	0.636 **	0.700 **	0.823 **	

クロマツ *P. thunbergii*

	1989	1990	1991	1992
1989		0.758 **	0.624 **	0.459 NS
1990	0.219NS		0.907 **	0.742 **
1991	0.161NS	0.950 **		0.696 **
1992	0.138NS	0.517 *	0.709 **	

注 :斜線から上は雌花,下は雄花

Note :Values of upper and under of oblique respectively shows the correlation coefficient of female and male

* : significant at 5% level

** : significant at 1% level

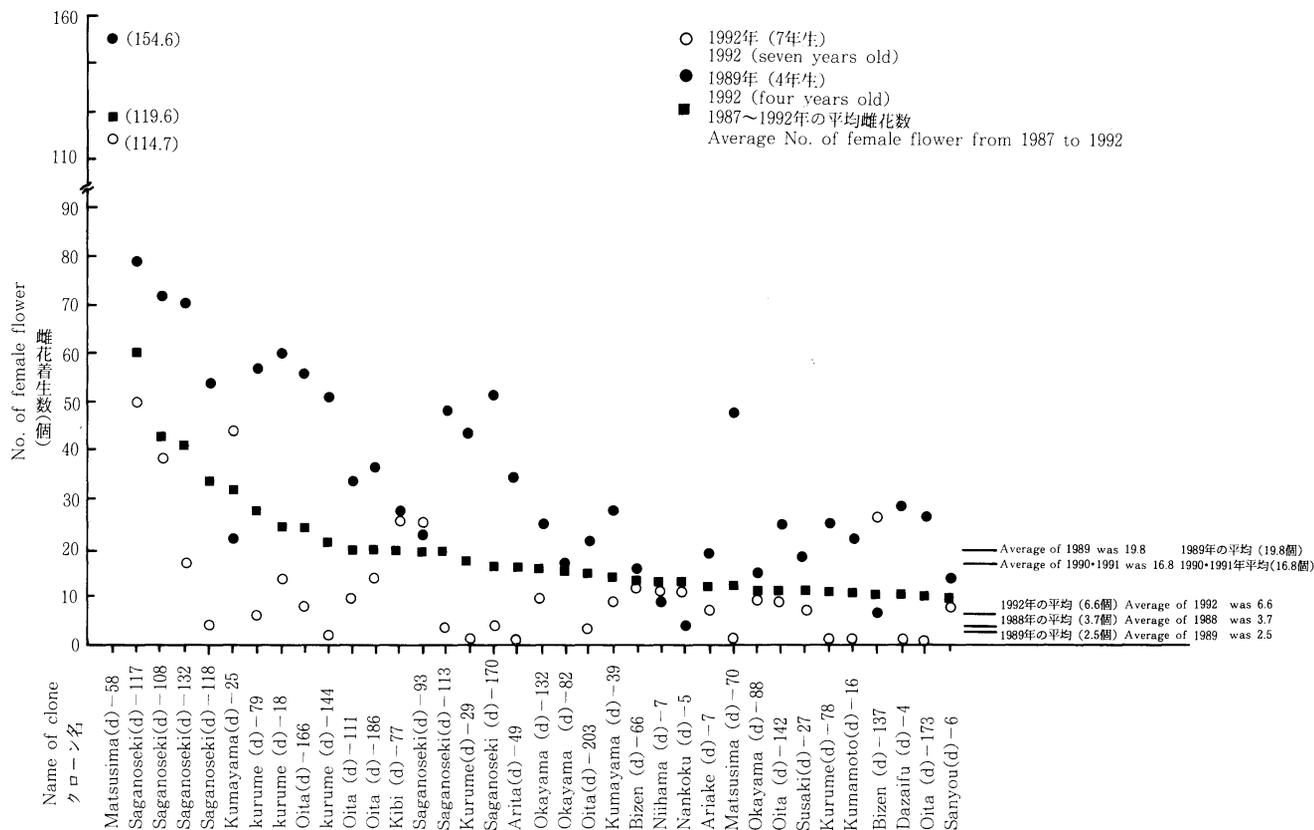


Fig.5 1989年・1992年におけるアカマツのクロン別平均雌花数
 Average of female flower of *P.thunbergii* compared with clone in 1989, 1992
 (1987~1992年における平均雌花数が10個以上のクロンを図示)
 (Figured was indicated the clone which have above ten female flowers from 1987 to 1992)

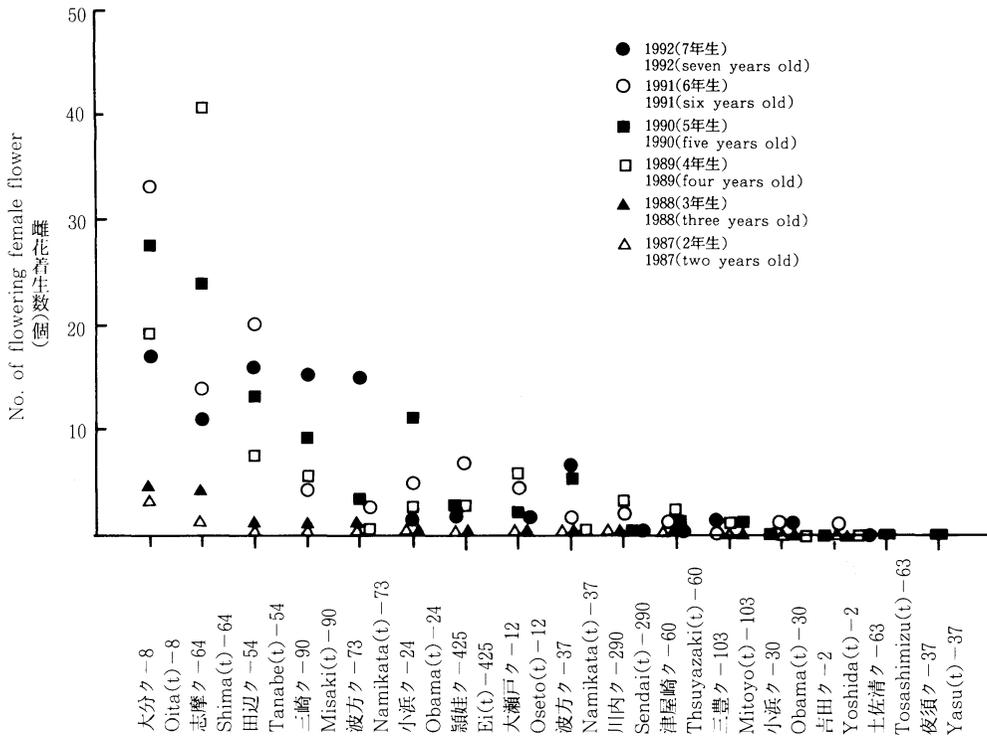


Fig.6 クロマツの年度別およびクローン別の平均雌花数

Average of female flower about *P.thunbergii*
(1987~1992年の平均雌花数が多い順にプロット)

(The figure was indicated by order of No. of female flowers from 1987 to 1992)

2) 雄花の着花性

雄花着生クローン率と着生個体率の経年的な推移をFig. 7 に示した。まず、着生クローン率について見るとアカマツでは2年生で44.7%のクローンが着生し、以後順調に増加した。4年生からは90%以上のクローンで安定した着生が認められこれまで一度も着生しなかったクローンは真備ア-70の1クローンであった。クロマツの着生クローン率は2年生でわずか20%強のクローンで着生しているが、4年生を除いた経年的な増加率はアカマツとほぼ同様な傾向を示した。クロマツの中には、これまで一度も着花しない川内ク-290、一度着生した吉田ク-2、小浜ク-30など着花性の低いクローンも存在する。また、4年生(クローン率50.0%)と7年生(同56.3%)で著しい減少が起こるなど雄花着生量は不安定な状況である。

着生個体率はアカマツが2年生で18.0%と少なかったものの6年生では86.7%と高まり順調に増加している。一方、クロマツのそれは2年生でわずか10%強の個体で着生したが、クローン着生率の推移と同様、4年生及び7年生では著しい年変動が認められた。雄花着生量の推移をFig. 4 に示した。アカマツについて見ると、2年生では平均着生指数 0.3であったが、6年生は 2.6と順調に増加している。これに対してクロマツは6年生の1.0が最高であり、各年とも1.0以下の低い水準であった。このことは抵抗性採

種園における花粉の不足を示唆し、抵抗性種苗の量的及び質的な面に影響およぼすと考えられる。

雄花については着生量のほかに花粉の質的な面も考慮しなくてはならない。すなわち花粉稔性や不稔花粉は種子稔性に影響を及ぼす要因であり各クローン毎のチェックが必要である。これに関して筆者ら³⁵⁾が1992年アカマツ64クローンで調べた結果、花粉発芽率の全平均は90.5% (73.0~96.2%)であったが、クローン間で著しい違いが認められた。一方不稔花に関しては全クローンから小形、未染色花粉が観察され、これらの平均出現頻度は6.5%であり、中には19.8% (大分ア-173) と高い出現頻度のものもあった。クロマツはまだ調査していないが、クロマツの場合は雄花の着花性が低ことから花粉稔性が低くければ問題である。幸いなことにマツ類の雄花の着花促進にはGA₍₄₊₇₎が有効であることを金川⁴⁰⁾が報告している。また、筆者らもクロマツ抵抗性クローンを用いた実験結果でも無処理に較べて雄花穂で約7倍の着生を認めており⁴¹⁾、こうした方法も利用すべきであろう。

以上のように雌雄花の着花性はクローンの遺伝的特性としてとらえてもさしつかえないと考えられるが、生理的要因や環境要因等の影響も予想される。今回はこうした要因との関わり合いについて明らかにできなかったが、これまでの調査結果をもとに大まかな着花性についてランク付け行い両樹種についてクローン毎の着花性をTable 6 に示した。雌花は6年間の平均着生量が10以下を少、10~20個を中、20個以上を多に区分した。雄花は同様に評価指数 1.0以下を少、1.0~2.0を中、それ以上を多とした。その結果、全クローンの約7割 (71クローン) が雌花着花性が少に区分され、クロマツでは雌花、雄花の

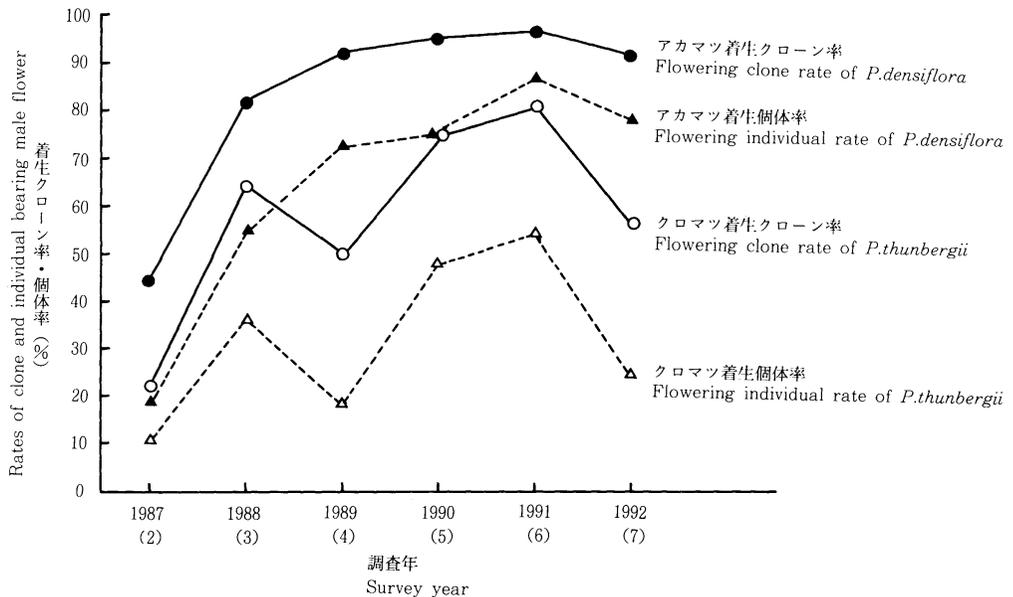


Fig.7 抵抗性クローンの雄花着生クローン率及び個体率の推移
 Transition of male flowering rate of resistance clone
 ()は定植後の年数
 ():Years since planting

両者で少に区分されるものが多い。着生量は樹齢とともに増加すると考えられるが、特にクローン数が少ないクロマツでは追加選抜のほか採種園管理の確立、着花促進技術等の開発が必要となってくる。

4 雌雄花の開花時期

雌雄花の開花時期は場所、クローン、その年の気象条件によって異なる。一般的にクロマツが早く、アカマツが遅く開花する。しかし、アカマツの中には満開日が早く、クロマツの開花時に開花し受粉可能期間が重なっているクローン、また、その逆にクロマツでも満開日が遅いクローンもある。抵抗性採種園は樹種別に設定されるためこうしたクローン間の開花時期の遅速は採種園の構成から見て好ましいことではないが、活用の仕方によっては有利なクローンであるともいえる。その一つは樹種間の自然雑種による抵抗性のレベルアップ、他の一つはアカマツ型でも開花時期がクロマツに近いクローンがあることから、絶対数の少ないクロマツ抵抗性採種園への補充が考えられる。したがって抵抗性クローンの開花時期を把握しておくことは大きな意義がある。ここでは1991年に雌雄花が着生したアカマツ74、クロマツ11クローンについて開花調査を行いその結果を取りまとめた。

雌雄花の開花時期調査は同年4月9日～5月9日に行い、雌花は各クローン1～2個体についてクローネの西側と東側から着生枝を選び開花調査を行った。雄花も雌花の場合と同様であるが、西側と東側の2本の着生枝について調査した。調査方法は萩行ら⁹⁾の報告にしたがって、雌花は1(開花開始)～5(開花終了)の5段階評価、雄花は4段階評価で行った。取りまとめにあたっては雌花の指数が3(開花中期：種鱗の成長のため、包鱗がその半分に見える)、雄花の指数が2(開花盛期：花粉飛散)の時期(以下満開日と略記)を対象とした。

両樹種の雌雄花満開日のクローン頻度をFig. 8に示した。まず、アカマツ雌花の満開日で一番早い

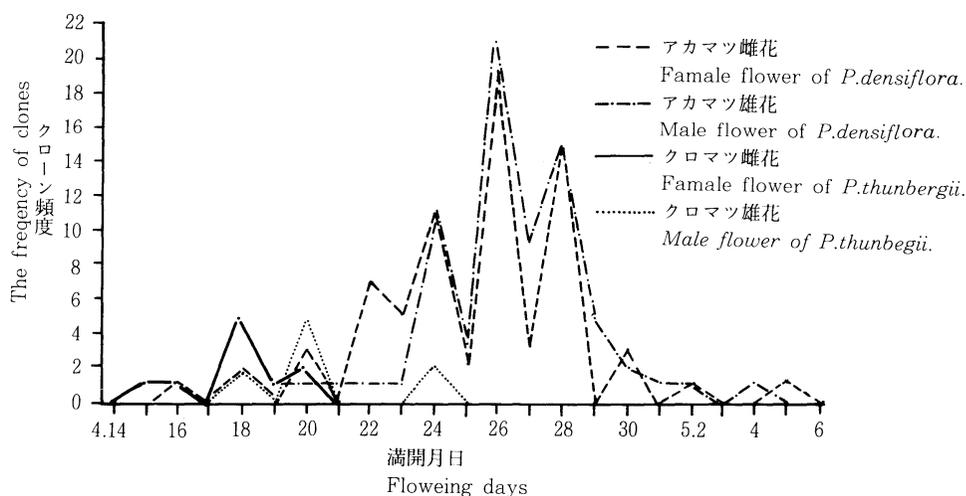


Fig.8 樹種別の雌雄花満開日のクローン頻度 (1991年)
The frequency of clones at flowering day (1991 year)

クローンは4月16日、最も遅いクローンが5月5日で、クローンによって約20日の遅速が見られた。同年のアカマツのピークは4月26日であり、その後28日までの3日間に約50%のクローンが満開日となった。一方クロマツの満開日の一番早いクローンは4月15日で、最も遅いクローンは4月20日で満開日の期間分布はアカマツに較べて少なかった。アカマツの中にクロマツの満開期間と同調するものが7クローンが見られたが、これらは以前から外観的にクロマツ型として注目していた備前ア-143、同66、佐賀関ア-93等であった。

一方、雄花について見るとアカマツの満開日は4月21日～5月5日で、ピークは雌花と同様に4月26日であった。クロマツの満開日は4月18日～4月24日であり、アカマツよりも開花期間が短い。両樹種の雌花と雄花の満開日の関係を見るとほとんどのクローンで雌花より遅れて雄花が満開日となっているが、クローンの中には雄花の方が早いものもいくつか認められる。Fig. 8からも明らかのようにクロマツの場合、最も遅い4月24日に2クローンが満開となる。従ってこれらは雌花の満開が早い（4月15日～20日）クロマツのクローンとは受粉しにくく、逆に開花期の遅いこれら2クローンはアカマツ雌花の満開期間内にあることから、むしろアカマツとの交雑機会が大きいと考えられる。今回は満開日前後の花粉飛散期間や雌花の受粉期間について調査を欠いたが、雌花の満開日が類似したアカマツ、クロマツ間の自然交雑が充分可能であることが示唆された。しかし、人工交雑の場合アカマツ×クロマツの稔性が低いことから²¹⁾ここでは限られたクローン間で自然交雑が起こるものと推測される。

アカマツ、クロマツの雌花の開花日は年変動が大きいことから³⁰⁾、今回行った単年度の結果だけでは開花の遅速について判定はできない。このため今後調査を進めなくてはならない。とりあえずアカマツの中で開花日が著しく異なるクローンについては後代の遺伝的資質にも影響するため、採種園で取扱には配慮が必要と考えられる。また、このよな開花日の遅速は雑種性とも関連するので改めて後で述べる。

5 種子生産性

抵抗性採種園では質的、量的に優れた種子を継続して量産することが望まれる。まだ、着花性が不安定なこともあって種子生産量は変動しているが、とりあえずこれまでの結果から抵抗性クローンの種子生産性についてとりまとめた。

1989年~1991年の3箇年間における両樹種の種子生産性と種子稔性を Table 7 に示した。

Table 7. 1989年から1991年における抵抗性クローンの種子生産性及び種子稔性
Productivity and fertility of seeds in resistance clones from 1989 to 1992

	クローン名 Name of clone	球果数(個) No. of cone	結果率(%) Cone yield	充実種子量 Full seed	平均球果重 Average weight	球果当種子重 Seed weight per cone	球果当種子粒 No. of seed per cone	100粒重 Weight of 100 seeds	
<i>P. densiflora</i>	松島ア-58 Matsushima(d)58	1048(1188)	71.5(87.3)	7.49(12.40)	2.65(4.50)	0.01(0.01)	0.99(1.21)	0.72(0.86)	
	佐賀関ア-117 Saganoseki(d)117	511(766)	83.4(97.9)	43.66(140.50)	8.02(10.82)	0.09(0.18)	8.54(20.57)	1.00(0.88)	
	佐賀関ア-132 Saganoseki(d)132	494(563)	67.3(79.0)	8.61(13.14)	3.04(4.44)	0.02(0.02)	2.15(3.29)	0.81(0.71)	
	熊山ア-25 Kumayama(d)25	403(141)	99.5(82.0)	9.05(13.00)	3.77(5.43)	0.02(0.09)	2.32(9.60)	0.97(0.96)	
	吉備ア-77 Kibi(d)77	394(253)	96.6(90.0)	37.32(20.10)	8.02(8.50)	0.09(0.08)	7.83(10.06)	1.21(0.79)	
	佐賀関ア-108 Saganoseki(d)108	355(687)	61.1(95.3)	31.33(67.00)	4.68(5.46)	0.09(0.10)	10.90(13.74)	0.81(0.71)	
	久留米ア-144 Kurume(d)144	300(464)	92.3(90.3)	44.08(109.10)	6.53(9.16)	0.15(0.24)	14.55(30.94)	1.01(0.76)	
	久留米ア-18 Kurume(d)18	294(533)	97.0(99.3)	43.98(97.30)	6.43(9.76)	0.15(0.18)	14.25(19.84)	1.05(0.92)	
	久留米ア-79 Kurume(d)79	273(528)	72.8(92.6)	57.78(114.60)	7.44(7.58)	0.21(0.22)	20.16(25.24)	1.05(0.86)	
	有田ア-49 Arita(d)49	270(313)	86.5(99.1)	44.76(57.40)	5.81(6.87)	0.17(0.18)	15.21(24.45)	1.09(0.75)	
	その他89クローン Another 89 clones	5663(8378)	78.5(82.6)	557.80(1072.14)	5.66(7.20)	0.10(0.13)	9.96(14.59)	0.99(0.87)	
		1991年	10005(13824)	78.6(85.7)	885.86(1716.68)	5.42(7.15)	0.09(0.12)	8.89(14.70)	0.99(0.88)
		1989年	1821	69.6	133.10	5.57	0.07	7.93	0.93
	<i>P. thunbergii</i>	田辺ク-54 Tanabe(t)54	100(5)	75.2(69.9)	7.88(0.21)	12.90(14.00)	0.08(0.04)	5.18(1.80)	1.52(2.33)
		小浜ク-24 Obama(t)24	73(12)	73.7(91.3)	4.86(1.98)	8.63(14.58)	0.07(0.17)	3.80(9.38)	1.75(1.76)
大分ク-8 Oita(t)8		50(34)	51.5(67.5)	0.91(0.16)	6.90(5.74)	0.02(-)	0.98(0.43)	1.86(1.09)	
志摩ク-64 Shima(t)64		37(67)	86.0(65.5)	2.95(11.30)	9.05(19.85)	0.08(0.17)	4.98(10.28)	1.60(1.64)	
波方ク-73 Namikata(t)73		32(1)	97.0(100)	0.49(0.13)	8.44(5.00)	0.02(0.13)	1.13(13.98)	1.36(0.93)	
三崎ク-90 Misaki(t)90		19(-)	61.3(-)	1.41(-)	12.37(-)	0.07(-)	3.26(-)	2.27(-)	
頼娃ク-425 Ei(t)425		15(15)	62.5(60.0)	0.14(0.24)	6.67(8.67)	0.01(0.02)	1.00(1.47)	0.93(1.09)	
波方ク-37 Namikata(t)37		8(-)	66.7(-)	0.56(-)	13.75(-)	0.07(-)	4.25(-)	1.65(-)	
大瀬戸ク-12 Oseto(t)12		4(17)	50.0(82.5)	0.33(0.33)	10.00(16.00)	0.08(0.02)	6.25(1.19)	1.32(1.63)	
三豊ク-103 Mitoyo(t)103		1(8)	50.0(100)	0.65(0.75)	5.00(17.50)	0.65(0.06)	25.00(5.58)	2.60(1.68)	
川内ク-290 Sendai(t)290		0(12)	0.0(86.7)	-(0.61)	-(11.67)	-(0.05)	-(2.58)	-(1.97)	
津屋崎ク-50 Tsuyazaki(t)50		0(2)	0.0(80.8)	-(0.60)	-(15.00)	-(0.30)	-(25.42)	-(1.18)	
		1991年	339(173)	69.6(70.1)	20.18(16.31)	9.91(14.38)	0.06(0.09)	3.62(5.83)	1.69(1.53)
		1989年	19	69.4	0.83	9.53	0.04	3.63	1.20

この表は1991年に採種したクローンのうち球果の多いものから順に、アカマツは上位10クローンと他のクローンにわけて記載し、クロマツは全クローンを掲げた。まず球果数は前年の雌花数と直接関係しており、アカマツは1990年、クロマツは1991年が最も多かった(Table 4, Fig. 4 参照)。

結果率は雌花数に対する球果数の割合いで表した。マツの球果は受粉以降、17~18ヶ月後に生産されるが、この間、未受粉であったり、受粉しても受精せず球果として発育しない等交雑不和合性に起因するもの、また、病虫害や台風など外的要因が原因で落下するもの等によって採取するまでに球果数はかなり減少する。雌花から球果までの歩留まりは、種子生産性ばかりでなく抵抗性苗の生産等にも影響を及ぼす。

各年における両樹種の結果率は異なるがアカマツの方がクロマツよりも良い傾向にある。アカマツは1990年に平均結果率が85.7%と最も高くなっており、結果率70%以上のクローンは約8割を占めるなど高い歩留まりとなった。これに対して、クロマツは70.0%前後の結果率であった。こうした結果率の年変動や樹種間差の原因は明らかではないが、その一つに雄花着生量に関与していることが考えられる。すなわち1988~1990年のアカマツの雄花着生量は平均指数で1.4~1.5であったのに対して同期間のクロマツは0.7~0.8と低い値であった(Table 4 参照)。特にクロマツの1989年は平均指数が0.2であり、クローン集植所の花粉密度が著しく低かったと考えられるが、このことが結果率にも影響したものと推測される。

次に平均球果重は1990年のアカマツが平均7.15g (3.08~15.83g)、クロマツが平均14.38g (5.00~19.85g)であり、両樹種ともクローン間に差異が認められる。一方、同年に採種された関西育種場四国事業場(以下四国と略記)のアカマツ56クローンの平均球果重は平均9.16g、九州が7.23gとなり、育成環境による違いが見られる。しかし九州と四国の間には $r = 0.591$ と有意な相関関係が認められ、各クローンの平均球果重は相対的に変動する傾向がある。このことは採種木の仕立て方等育成管理によって変異することを示唆していると考えられる。一方、球果当りの種子重を見るとアカマツは平均0.12g、クロマツは0.09gとなり、クロマツでは充実種子が著しく少なく、球果当りの種子数でもアカマツの14.7粒(1.04~38.15粒)に対して、クロマツは5.83粒(0.43~25.00粒)とクロマツの種子生産量が著しく少ない結果となった。一般にマツの球果当りの充実種子数は、アカマツは $24^{23}) \sim 58^{15)}$ 、クロマツは $33^{49}) \sim 36^{19)}$ であり、これと比較しても抵抗性クローンの種子数が著しく少ないことがわかる。球果当りの種子数や種子重は球果の大きさと関連深い。これらの関係を1990年のアカマツについてFig. 9に示した。図でも明らかのようにクローンの中には一定の傾向を示さないクローンも認められるが、ほとんどのものは球果重の増加にともなって種子数、種子重が増える傾向にあり、球果重と種子数との相関係数は $r = 0.494$ 、球果重と種子重との相関係数は $r = 0.609$ であり、いずれも有意な相関関係が認められた。アカマツやクロマツでは受光量の多いクローネの上・中部の活力旺盛な第一次枝に大きな球果が着生するといわれている²⁹⁾。1990年のアカマツについて、種子数と種子重との関係を四国と九州で比較した結果をFig. 10に示した。図でも種子数、種子重とも四国が高い値である。これは四国が当初から採種園(2.5×2.5m)として育成管理されたのに対して、九州のクローン集植所は定植3年目の1988年に枝が触れ合う等過密な状況であり、こうした採種木の活力の違いが影響したものと推測される。従って九州での着花性や種子生産性の結果はかなり低い値で検討しているものと予想され、正規の採種園の値は今回

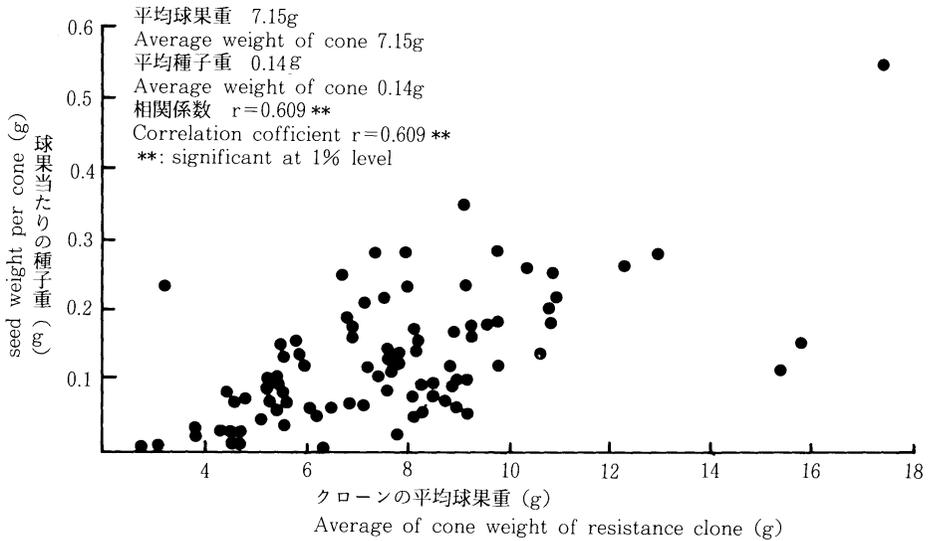
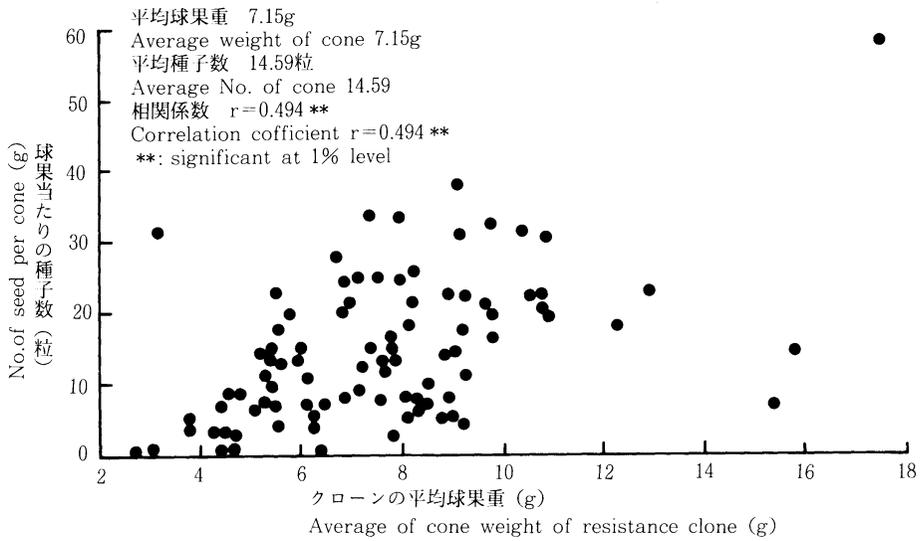


Fig.9 九州における1990年のアカマツ球果重と種子数及び種子重の関係
Relationships among cone weight, number of seed and seed weight of *p.densiflora* at 1990

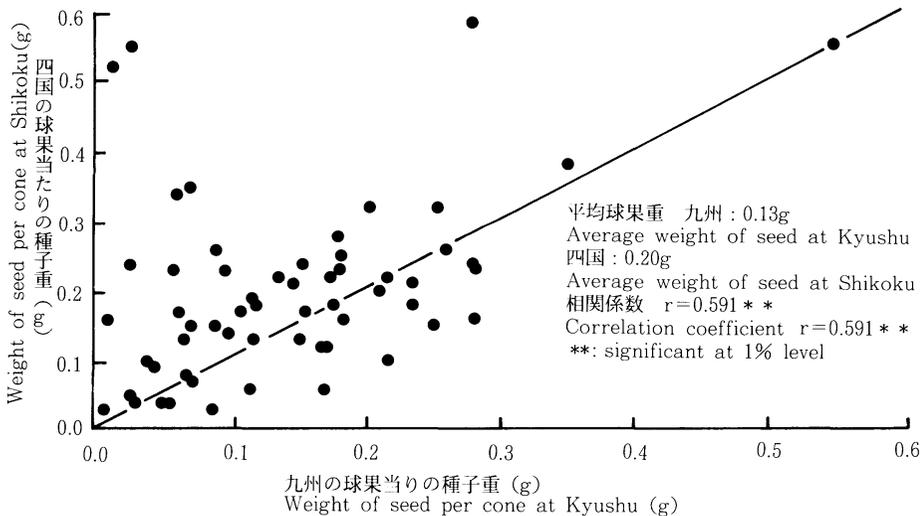
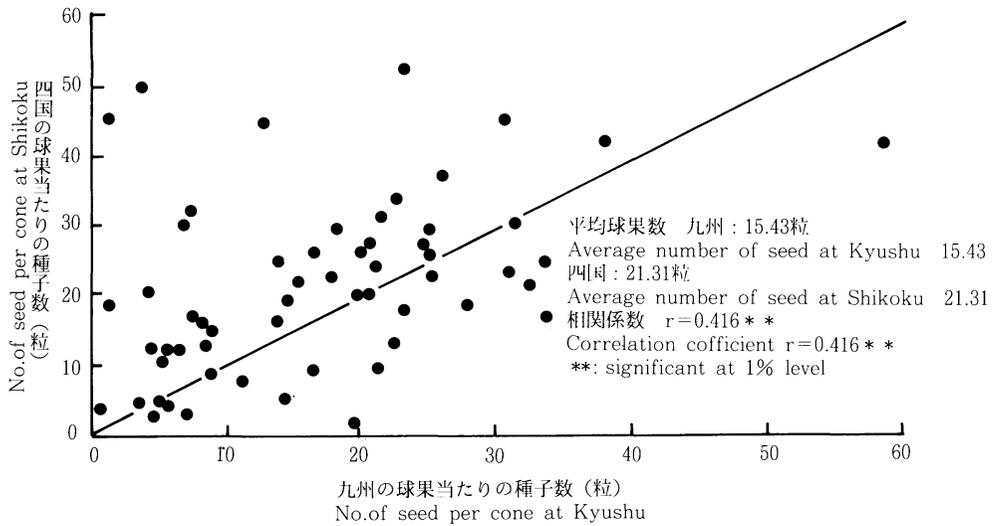


Fig.10 九州と四国における球果あたりの種子数と種子重の違い

1990年に採種した共通なアカマツ58クローンを対象とした

Difference of number and weight per cone between Kyushu reg. and Shikoku reg.

Fifty eight of *P.densiflore* planted commonly in Kyushu and Shikoku at 1990

よりも高くなるものと考えられる。

今後抵抗性採種園は施肥等も含めた適正な育成管理を行って採種木の活力を高める一方、花粉密度を高めるため、受粉樹の利用についても考慮しなければならない。また、クローンの中には雌花着生量と種子生産量とが一致しないものがある。例えばアカマツの松島ア-58、クロマツでは田辺ク-54等であり、毎年多量な雌花の着生は認められるが種子生産性は著しく低い。1991年の松島ア-58の場合、総球果数1,048個からわずか7.49gの種子が生産されたにすぎず、1球果当りの種子数は0.99粒、種子重は0.01gと極めて少ない種子量である。種子生産性の低下に影響を与える要因の一つに球果が開かない、いわゆる閉球果がある。球果を自然乾燥させて開かない球果数を調べてみると、1991年の結果ではアカマツのクローン別閉球果率（球果数に対する閉球果の比率）は0~70.6%（西条ア-8）、平均20.6%、クロマツは採種したクローン全てに認められ、最少の9-4（波方ク-73）~最多の100%（大瀬戸ク-12）、平均28.3%であり両樹種ともかなり多い傾向にある。この原因が採種時期、乾燥方法の違いによるものかは明らかではないが、バンクスマツ（*Pinus Banksiana* LAMB.）とコントルタマツ（*Pinus Contorta* DOUGL.）で報告されているように³⁶⁾ 遺伝的なものであれば憂慮すべき問題である。

次に発芽率について見ると、アカマツでは1989年の平均は78.6（16.7~100）%、1991年が平均84.8%（43.3~97.4）%であり、クロマツは1991年が64.5（46.7~82.4）%であった。アカマツの1989年の種子はクローンが定植された直後で雄花着生量も少なく、不安定であったが、1991年の種子は雄花着生の絶対量も増加したため高い発芽率となった。一方、クロマツは雄花着生量が充分でない状態にあり低い発芽率になったと推測される。

種子生産性や稔性は樹齢とともに高まると予想されるが、遺伝的な面で不明な部分も多く継続した調査研究が必要である。

6 抵抗性クローンの実生後代の抵抗性

抵抗性クローンからの種苗は材線虫の被害跡地や木材生産用として直接造林に供される予定であり、各クローンの実生後代の抵抗性の把握は普及や採種園の管理の面からも重要な課題である。

ここではクローン集植所で採種した抵抗性種苗を接種検定し、家系抵抗性の把握を試みた。接種検定は1990年から1992年の3年間実施した。この3年間に行った抵抗性家系の検定数は、アカマツは延べ182家系19,000本であり、クロマツは種子が一定量採取できなかったこともあって9家系516本である。以下各年の結果について述べる。なお、接種検定は各年とも床替2年生苗を用い、7月下旬に苗木1本当り線虫系統“島原”を5,000頭接種した。また、調査は7（1991）~10（1990, 1992）日間隔で健全、生存、枯損の3区分で行った。とりまとめは特別な場合を除き生存率を用いた。

1) 1990年の接種検定

供試した家系および本数等をTable 8に示した。抵抗性クローン集植所からの種子はまだ充分採取できなかったため、抵抗性家系はアカマツのみ行った（1988年採種）。一次検定合格木家系は西日本地域から選抜した候補木のうち一次検定に合格したクローン（以下一次検定合格木³⁾と略記）の原母樹から各機関が採取した自然受粉種子である（1986年採種）。また、対照として一般在来マツとマツノザイセンチュウ

Table 8. 1990年の人工接種検定
Inoculation test at 1990.

樹種 Species	区分 Class	家系数 No.of family	接種本数 No.of test tree	健全率 Sound rate	生存率 Survival tree	備考(採種源) Seed source
<i>P.densiflora</i>	抵抗性家系 Resistance family	41	4,355	64.8%	68.2%	クローン集植所 Clone bank
	抵抗性家系 Resistance family	3	220	86.6	90.2	原母樹 Mother tree
	一次検定合格木家系 Family of passed first test	19	1,488	61.2	67.1	原母樹 Mother tree
	優良林分家系 Family of fine forest	7	979	38.9	40.8	クローン集植所 Clone bank
	小計 Total	70	7,042	61.1	64.8	
<i>P.thunbergii</i>	精英樹家系 Plus tree family	11	8,796	11.1	15.1	クローン集植所 Clone bank
<i>P.taeda</i>		5	274	83.2	87.6	原母樹 Mother tree

抵抗性育種事業で使用したテーダマツ5家系⁴⁾を用いた。

接種後の中間調査においても家系群の平均生存率は抵抗性家系および一次合格木家系とも対照家系に較べていずれも高い値を示し、また枯損推移は抵抗性家系ほど緩やかで、感受性家系は急速に低下すると言うこれまでと同様なパターンが認められた³⁸⁾。

最終調査の結果を Table 8 に示した。対照家系の平均生存率は40.8%でその範囲は26.3~73.5%であり、これまでのアカマツ精英樹等と同程度の値を示した。一次合格木家系の平均生存率は67.1%で、その範囲は37.5~90.0%であり、対照家系に較べて高い値を示した。抵抗性家系の生存率は26.2~97.9%と広い分布幅であったがその平均値は68.2%で本検定中最も高い生存率を示した。

一次合格木は残存率5%程度の林分から選抜されているので、林分内の残存個体はいずれも材線虫の淘汰を受けていることが予想され、糟谷ら¹⁰⁾の報告にあるように抵抗性個体が高い頻度で存在しており、これらの自然受粉後代であるため抵抗性が高まったものと考えられる。これについて抵抗性クローンの原母樹由来の家系とクローン集植所産の家系を接種検定して比較し、結果をTable 9 に示したが、原母樹由来の家系が高い抵抗性を示した。このことから自然淘汰による林分の抵抗性は明らかに高まっていると言える。一方クローン集植所由来の家系は雄花着生量が充分でなく(1987年雄花着生指数 0.3)花粉密度が低かったことが影響していると考えられるが明らかではない。

2) 1991年の接種検定

供試家系及び本数をTable 10 に示した。抵抗性家系は1989年に採種したものである。精英樹は1958年に設定された構内のクローン集植所から1989年に採種した。松島産家系は熊本県天草郡千巖山で採種したものである。対照としたテーダマツはマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業に用いた5家系である。

Table 9. 採種場所のちがいによる抵抗性の変異
Difference of resistance on seed source.

家系名 Family	クローン集植所採種 Seeds from clone bank		原母樹採種 Seeds from mother tree	
	接種本数	生存率	接種本数	生存率
	No.of tested trees	Survival rate	No.of tested trees	Survival rate
久留米ア- 18 Kurume(d)-18	114	67.5%	83	94.0%
久留米ア- 79 Kurume(d)-79	201	77.6	60	78.3
久留米ア-144 Kurume(d)-144	86	81.4	81	95.1
計 (平均) Total	401	62.6	224	90.2

Table 10. 1991年の人工接種検定
Inoculation test at 1990.

区分 Class	家系数 No.of family	接種本数 No.of test tree	健全率 Sound rate	生存率 Survival tree	備考 (採種源) Seed source
抵抗性家系 Resistance family	50	4,907	58.2%	64.1%	クローン集植所 Clone bank
精英樹家系 Plus tree family	25	1,310	43.0	50.9	クローン集植所 Clone bank
松島産家系 Matsushima family	23	1,733	29.8	34.4	天草郡松島町 Matsushima stand
小計 Total	98	7,950	49.5	55.5	
テーダマツ <i>P.taeda</i>	5	123	27.9	37.3	

平均生存率の推移をFig.11に示した。テーダマツが接種後 7日目にあたる8月1日から、その他の各家系群は14日目(8月8日)から28日目(8月22日)までの間に著しい低下が見られた。この14日間における枯損本数は最終調査時の約7割(67.8%)を占めた。最終調査の結果をTable10に示したが、テーダマツの平均生存率が37.3%と1990年の87.6%に較べて著しく低い値となった。松島産家系は平均生存率34.4(最小 2.6~最大65.8)%, 精英樹は平均生存率50.9(10.0~65.8)%であった。抵抗性家系は平均生存率64.1(34.0~65.8)%で本検定中最も高い抵抗性を示した。

各家系の生存率を用いて生存率の差の検定を行いその結果をTable11に示した。家系群、家系間にそれぞれ有意差が認められ、またテーダマツ、抵抗性家系及び精英樹家系群の平均値間にそれぞれ有意差が認められ、抵抗性と精英樹の両家系群はテーダマツ以上の抵抗性を示し、しかも抵抗性家系群は最も強いといえる。

1991年の接種検定における精英樹家系群の生存率は高い水準であった。この原因の一つに構内の精英

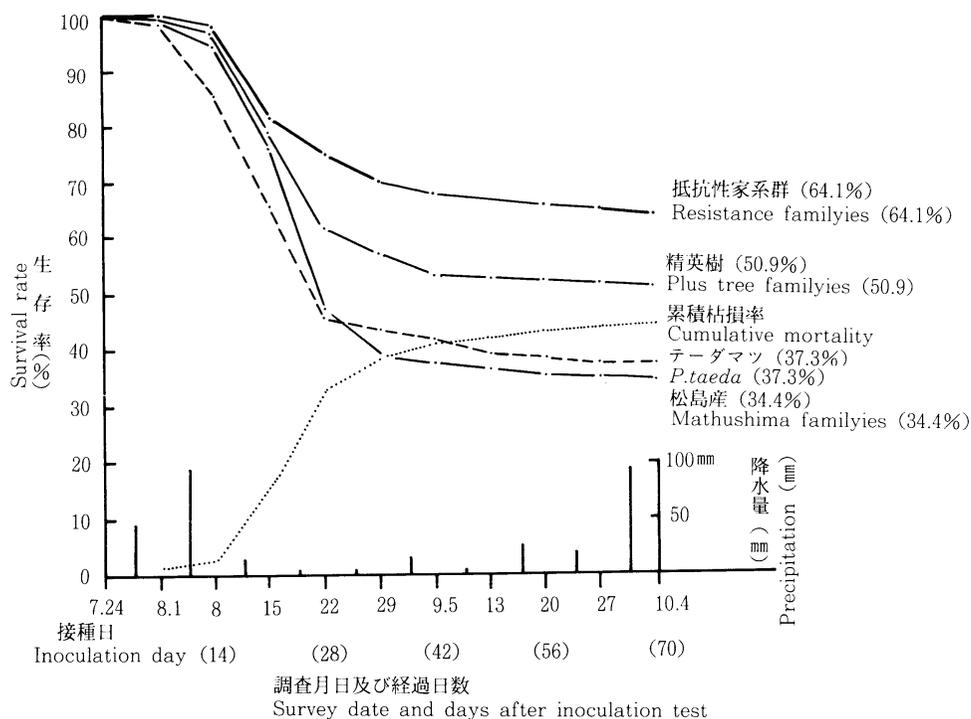


Fig.11 生存率の推移と週間の雨量

The transition of survival rate and total rain fall per week (1991)

Table 11. 生存率の群ごとの平均値及び平均値間差とその有意性
Average survival rate of seed sources and
significance of difference between seed sources

	抵抗性 Resistance (50.76)	精英樹 Plus tree (43.29)	テーダマツ <i>P.taeda</i> (29.96)	松島産 Matsushima (31.41)
抵抗性 Resistance (50.76)		7.47 **	20.80 **	19.35 **
精英樹 Plus tree (43.29)	4.99		13.33 **	11.88 **
テーダマツ <i>P.taeda</i> (29.96)	9.56	9.99		1.45NS
松島産 Matsushima (31.41)	4.14	5.89	10.06	

対角線より上段は平均間差, 下段は最小有意差 (LSD)

Upper values of oblique line is indicated difference of average survival rate between seed sources

Under values of oblique line is LSD.

平均生存率はブリスの変換値

Average survival rate is change value of C.I.BLISS.

** 1%水準で有意 significant at 1%level

樹クローン集植所が材線虫の自然淘汰によって抵抗性の高いものが残存していることがあげられる。本集植所は1959年に設定された。1970年頃から一般にいう松くい虫の被害が発生し、1973年～1977年にかけて薬剤（EDB乳剤）による地上散布をした。しかしその後薬剤散布を中止し、枯損木の処理のみを行った。被害は毎年発生したが、アカマツ・クロマツとも1979年には枯損がピークに達し、1989年の生存率はアカマツが71クローン（クローン率71%）、161個体（個体率32.8%）、クロマツ68クローン（32.2）、96個体（11.1%）という現状であった¹⁸⁾。従って1990年の抵抗性クローンの原母樹から採種した家系が高い抵抗性を示したのと同様に比較的抵抗性の高いものの自然受粉であったことが影響したものと推測される。

一方松島産の家系群はクロマツとアカマツの天然混交林から採種したものである。今回用いた松島産家系の各母樹を外部形態によって樹種区分するとクロマツ型10個体、アイマツ型3個体、アカマツ型10個体となり、樹種区分ごとの平均生存率はそれぞれ24.6%、39.9%、42.6%でクロマツ型の家系が低い値で、これが松島産全体の平均値低下に影響したものと考えられる。

3) 1992年の接種検定

供試家系および本数は Table12に示した。アカマツ抵抗性家系はこれまで最も多い88家系、クロマツは9家系を対象とした。抵抗性候補木家系はマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業で候補木として選抜され、一次検定で不合格となった家系であり、精英樹家系は構内のクローン集植所からのものである。

Table 12. 1992年の人工接種検定
Inoculation test at 1992

樹種 Specis	区分 Class	家系数 No.of family	接種本数 No.of test tree	健全率 Sound rate	生存率 Survival tree	備考（採種源） Seed souce
アカマツ <i>P.densiflora</i>	抵抗性家系 Resistance family	88	9,518	40.4	55.1%	クローン集植所 Clone bank
クロマツ <i>P.thunbergii</i>	抵抗性家系 Resistance family	9	516	23.1	48.3	クローン集植所 Clone bank
	抵抗性候補木家系 Candidate family	10	2,637	7.2	15.9	クローン集植所 Clone bank
	精英樹家系 Plus tree family	2	620	2.7	5.6	
	小計 Total	21	3,773	8.6	18.6	
テーダマツ <i>P.taeda</i>	対照 Control	5	589	2.4	46.7	

まず、アカマツ抵抗性家系の平均生存率は55.1（分布は19.6～87.0）%であり、これまでの検定の中で最も低い値を示した。一方、クロマツは精英樹家系が平均生存率5.6%、抵抗性候補木家系が15.9（3.0～44.6）%と著しく低い値を示したのに対して、抵抗性家系の平均生存率は48.3（28.6～100）%とクロマツの中で最も高い値を示し、しかもテーダマツの46.7%を上回った。

4) 接種検定のまとめ

1990～1992年におけるテーダマツ平均生存率以上を示す家系頻度をTable13に示した。1990年はテーダマツの生存率以上を示す家系は抵抗性家系群で約2割、一次合格木家系群で約3割と他の年度に較べ

Table 13. テーダマツの生存率を上回ったアカマツ家系の頻度
Frequency of *P.densiflora* family,
over the survival rate of *P.taeda*

テーダマツとの 比率 Survival rate compared with it of <i>P.taeda</i>	接種年 test year						
	1992	1991			1990		
	抵抗性家系 Resistance family	抵抗性家系 Resistance family	精英樹家系 Plus tree family	松島産家系 Matsushima	抵抗性家系 Resistance family	候補木家系 Candidate family	一般家系 General family
～1.00	22 (25.0)	1 (2.0)	4 (16.0)	14 (60.8)	33 (80.5)	16 (72.7)	7 (100)
1.01～1.20	1 (21.6)	3 (6.0)	4 (16.0)	3 (13.0)	8 (19.5)	6 (27.3)	
1.21～1.30	8 (9.1)	0 (-)	1 (4.0)	0 (-)			
1.31～1.40	13 (14.8)	2 (4.0)	2 (8.0)	2 (8.7)			
1.41～1.50	10 (11.3)	3 (6.0)	1 (4.0)	0 (-)			
1.51～1.60	7 (8.0)	5 (10.0)	1 (4.0)	1 (4.4)			
1.61～1.70	4 (4.5)	5 (10.0)	2 (8.0)	2 (8.7)			
1.71～1.80	2 (2.3)	9 (18.0)	2 (8.0)	1 (4.4)			
1.81～	3 (3.4)	22 (44.0)	8 (32.0)	0 (-)			
計	88	50	25	23	41	22	7

() : 百分率, Rate

で少ない出現頻度であった。1991年の抵抗性家系群は他の2つの家系群に較べて高い頻度で多くの家系が出現しており、1992年も約8割の家系がテーダマツ以上の抵抗性を示した。また、Table12に示したように同年接種検定したクロマツ抵抗性家系も9家系中6家系がテーダマツ以上の抵抗性を示すなど抵抗性家系群が未選抜の家系群に較べて強い抵抗性を示しており、明らかに選抜効果が認められた。

しかし各年とも抵抗性家系の生存率にはかなりの変動が認められる。各クローンは一定レベルの抵抗性は保持しており、強いものから弱いものまでクローン間に差異があると推測される。従ってそれらの後代である家系抵抗性に変動が生じて不自然ではない。一方、年変動については家系構成は異なるが、アカマツ抵抗性家系群の年間の平均生存率は55.1 (1992) ～68.2% (1990) の範囲であった。これに較べて対照のテーダマツは37.3 (1991) ～83.2% (1990) と著しい変動が認められた。対照のテーダマツは1988年に採取した保存種子であり、遺伝的にはほぼ均一であることからこうした変動は抵抗性以外の要因が関与したものと推測される。

このことについては明らかではないが、自然界における材線虫による枯損は温量、標高、降水量、土壌、樹勢など環境を構成する各要因が関連して変動すると言われている^{11, 31)}。また、人工接種による枯損でも供試家系の遺伝的形質、接種源のタイプ、系統の加害性、接種頭数¹³⁾、温度、土壌水分などで異なる。こうしたことから野外で行う接種検定では検定手法以外の要因の制御は困難であり、結果の再現性が多少低い状況になったものと考えられる。

マツは本来乾燥に強い樹種であるが、夏期の降水量が少ない場合にはマツ枯損量は急増しやすい。水分環境については、その年の絶対降水量よりも年平均の格差が大きいとマツは枯れ易くなり³³⁾、ツバキやツツジなどの乾燥害が発生するような異常干ばつではそれを契機にマツの枯損は大発生する¹¹⁾と言われている。一方、接種実験でも土壌乾燥のマツ枯損に及ぼす影響^{25, 26)}について多くの報告がある。このよう

に土壤水分と枯損との関連性が実生後代の抵抗性の再現性の障害となっている。ここでは各検定年における環境要因の中から気温と降水量をFig.12に示した。

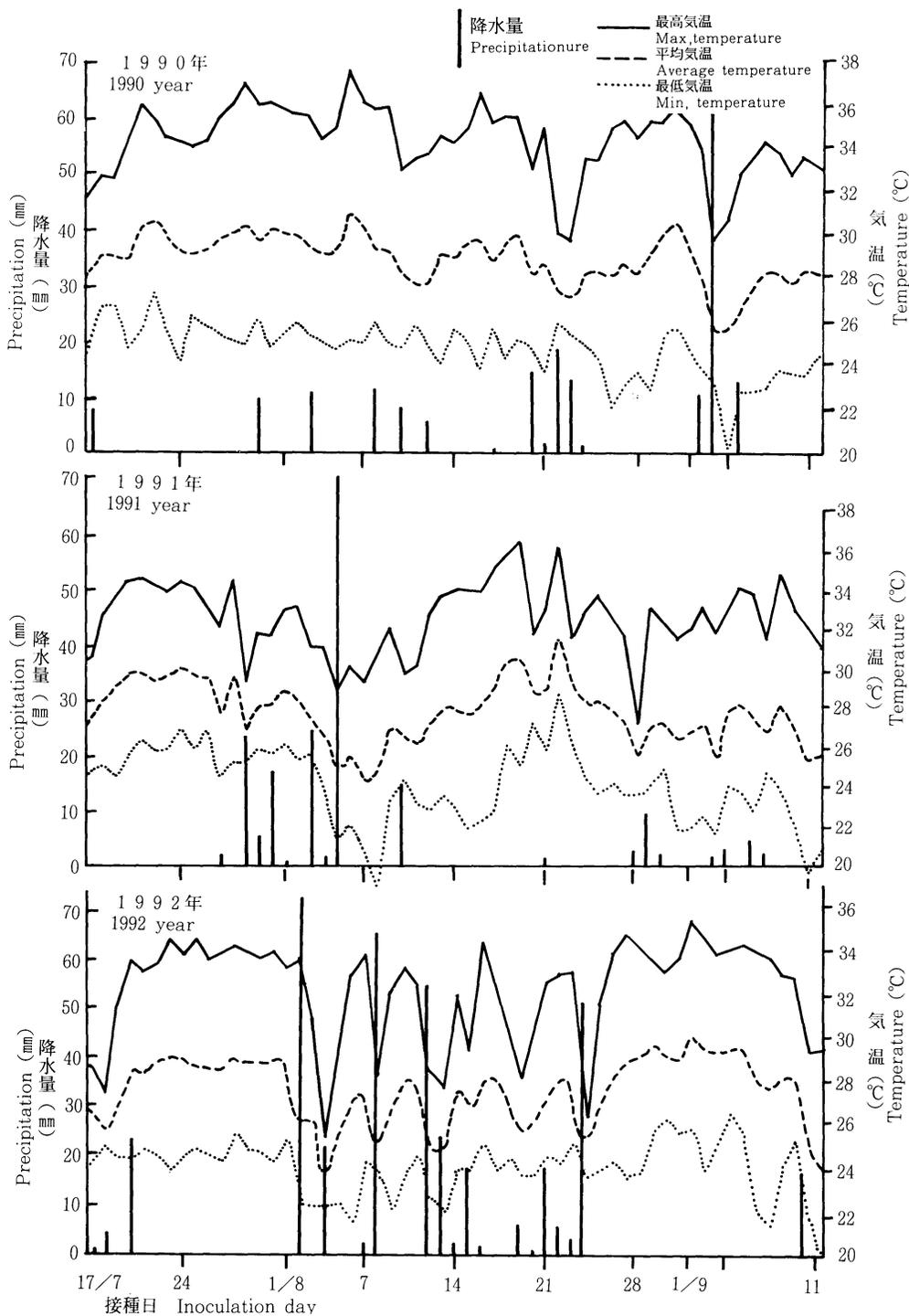


Fig.12 各年の夏期における降水量及び気温

The precipitation and air temperature in summer at 1990, 1991, and 1992

1990年における7月下旬から10月下旬（7月24日～10月4日）までの降水量は308.0mmであった。他の年と異なるのは8月までに1日に20mm以上の降水量が見られたのはわずか4日で、まとまった降水量が少ない。また、接種後30日間の降水量はわずか79mmであった。同年は接種前に灌水したため接種直後は苗畑の土壌水分は比較的良好な状況であったと考えられる。大山らに²⁵⁾よると接種前の土壌乾燥はマツ枯損にほとんど影響なく、接種後の土壌水分は枯損率を高めるとしている。従って接種前の灌水は同年の検定結果と直接関係ないものと考えられる。しかし同年のテーダマツの生存率が著しく高い値となっており、このことはテーダマツの水分特性がアカマツ、クロマツと異なることも推測されるが今回は明らかにはできなかった。

1991年（7月17日～10月4日）の降水量について見ると339.5mmで前年と大差はない。しかし、枯損が最も進行した8月8日～21日の期間はわずかに16mmと少ない。しかもその後1週間の降水量もわずかであり、8月28日までの総雨量は18.5mmと前年同期の約1/4という少ない雨量であった。

1992年は梅雨明け（7月19日）から13日間無降水日が続き過去30年間の記録となっており、接種後8日間乾燥状態が続いている。

このように各年とも降雨の絶対量が異なり、また、接種後時期は同じではないが乾燥状態の期間が認められるなど各年の環境条件には特徴がある。従って3箇年に共通した要因は今回は明らかにできなかったが、単年ごとの生存率と雨量の間には興味深い関係がある。アカマツ抵抗性家系の生存率が1990>1991>1992の順になったことと九州地区の国有林におけるマツくい虫の被害量とは同じパターン（Table14）を示すことから、枯損に与える環境要因の影響は存在する。

Table 14. 国有林における県別・年度別被害発生量 単位m³
Amount of tree damage by pine-wood nematode in national forest (m³)

県別 Organization	1987	1988	1989	1990	1991	1992.10現在 (till October)
福岡 Fukuoka	1,733	1,411	1,150	1,982	1,558	1,451
佐賀 Saga	1,131	678	278	393	590	943
長崎 Nagasaki	1,535	2,051	2,058	948	963	540
熊本 Kumamoto	500	549	235	1,076	1,122	353
大分 Oita	298	669	298	443	971	1,200
宮崎 Miyazaki	3,384	476	2,096	2,976	5,899	3,240
鹿児島 Kagoshima	4,954	6,134	5,759	6,075	8,534	14,052
沖縄 Okinawa			1			
局計 Total	13,538	13,968	11,875	13,893	19,637	21,684

(平成4年度九州ブロック技術開発連絡協議会資料：熊本営林局)
Data of Technological Development Connecting Conference
in Kyushu block
数量は国有林と官行造林
The volum is total of National forest and Governmental
contract of plantation

Fig.13に各年の健全率（供試苗に対する健全苗の割合）と生存率（同じく健全苗と部分枯れ苗の割合）の関係を示した。図で対角線上にプロットされた家系は部分枯れ苗（苗木の先端部及び枝の一部が枯れ

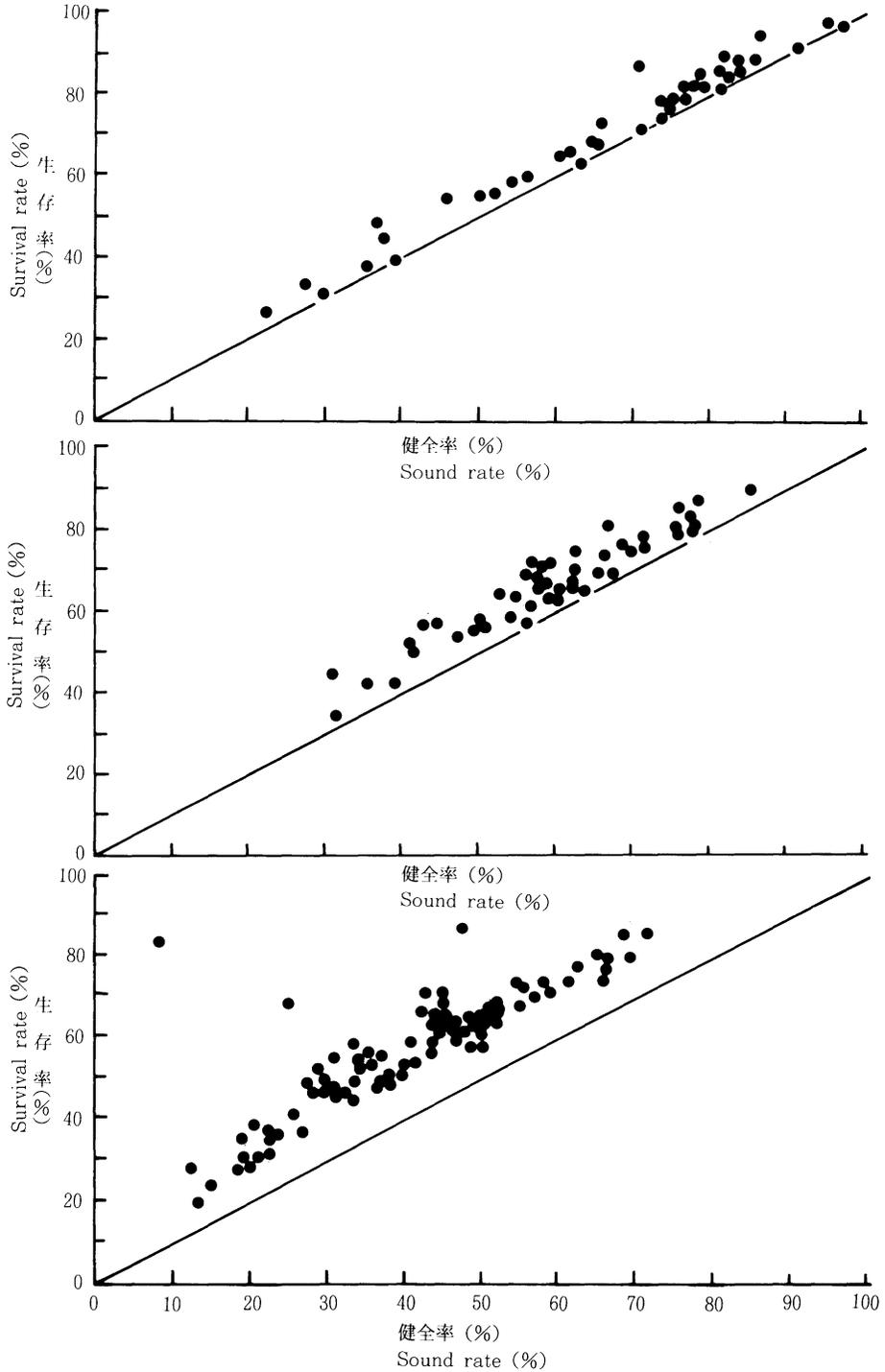


Fig.13 人工接種検定における健全率と生存率の関係
The relationship between sound rate and survival rate of inoculation test

ているもの)が少ないことを示しているが、各年の被害パターンが異なっていることに注目したい。図から明らかのように1990年は部分枯れが少なく、1992年は部分枯れ苗が著しく多い。

これについてテーダマツの生存率を検定強度とすれば1990年が最も検定強度が弱い。すなわち環境要因の影響が少なかったものと推測される。従って家系の枯損は家系内の個体が持つ抵抗性に応じたものであり、生存率=健全率となる。しかし、各個体に環境要因が強く係わった場合にはそれが抵抗性個体であったとしても枯損(健全率の低下)あるいは部分枯れ等の被害(生存率の上昇)を起し易いと考えられる。すなわち、茨木ら⁹⁾が指摘したように環境圧力の低い場合には枯損や部分枯れが少ないが、環境圧力が高まるにしたがって一般に抵抗性の高いテーダマツでさえ枯損は促進され、健全苗は少なくなると推測される。

7 抵抗性クローンの雑種性

1) 樹脂道指数からみた抵抗性クローンの樹種区分

天然分布のマツ林の中にはアカマツとクロマツの中間型を示す集団が存在しており、それは海岸と内陸との中間地帯に多く出現するといわれている⁹⁾。抵抗性クローンの中には外部形態からアカマツであってもクロマツ型を示すもの、また、その逆のものが少なくはない。こうしたことは同一樹種内において開花時期のズレを生じ、採種圃の造成及び管理、種子生産性にも影響を与える。

一般に樹種区分はアカマツとクロマツの両極とその中間的なアイノコマツの3つに区分される。しかし実際にはアカマツからクロマツまで連続的な分布であり、上記の3区分にアカマツに近いもの、クロマツに近いものを加えて5区分する場合がある。すなわち前者を三分法とすれば後者は五分法であり、アカマツ、アイアカマツ、アイマツ、アイグロマツ、クロマツに区分される³⁰⁾。

この区分は樹皮、針葉、冬芽、球果等の外観的な特徴から判定する方法と、針葉内部の下表皮厚膜細胞、樹脂道の位置等の解剖学的な特徴で判定する方法とがある。今回の雑種性の検討では平吉ら⁹⁾の方法に従い、次式によって各クローンの樹脂道指数(Resin Duct Index以下 RDIと略記)を算出した。

すなわち、

$$RDI = Rd' / 2 + rd' / rd$$

RDI = 樹脂道指数

Rd' = クロマツ型主樹脂道の数

rd = 副樹脂道の総数

rd' = クロマツ型副樹脂道の数

この式からRDIは完全なアカマツの場合は0となり、同じくクロマツの場合は2となる。

調査はクローンの4年生枝の基部から新梢にかけて針葉を採取し、1クローン当り30針葉について長さと中央径を計測した後、中央部を切断した切片の樹脂道を顕微鏡を用いて観察した。

抵抗性クローンのRDI 0.20以上の49クローンをFig.14に示した。総クローンのRDIは0.000~2.000まで広い範囲で分布しており、RDIから見た場合、アカマツの方が雑種性が極めて高い結果となった。アカマツのRDIは0.000~1.984と広い分布幅で、この中には純粋なアカマツ(0.000)に区分される6クローンがある反面、クロマツに極めて近い備前ア-143(1.984)が認められた。クロマツのRDIは

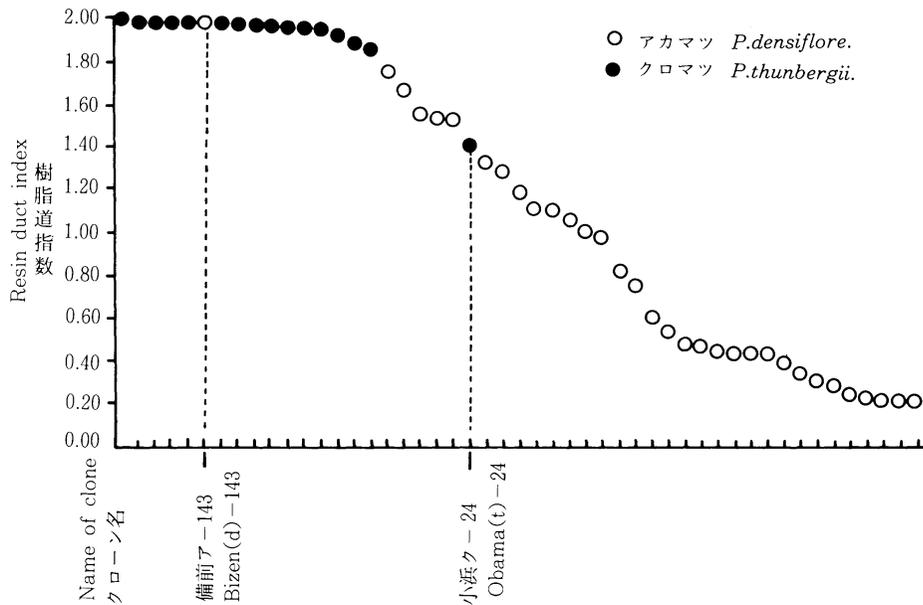


Fig.14 抵抗性クローンの樹脂道指数 (RDI)

Resin duct index of resistance clone

RDI 0.200以上の49クローンを表示

Forty nine clone with resin duct index above 0.2 was figured

1.404~2.000と各クローンとも高い値を示したが RDI値から識別すれば津屋崎ク-50がクロマツに区分され、小浜ク-24のRDIはアカマツの分布範囲に入る。

今回得られたRDIを吉川ら⁵¹⁾が行った方法で5分法に区分した場合のクローンの出現頻度は、アカマツ型 (0.00~0.250)59.2%，アイアカ型 (0.250~0.750) 12.1%，アイマツ型 (0.750~1.250) 6.5%，アイグロ型 (1.250~1.750) 7.4%，クロマツ型 (1.750~ 2.000) 14.8%となり、アイグロ型の出現頻度は予想外に低かった。

各クローンの RDIとその個体内の標準偏差の関係をFig.15に示した。その結果、アカマツ、クロマツのRDI値の両端付近は標準偏差が小さくなり、その中間は大きい値がであり、RDIと標準偏差の間には山形の関係が認められた。これは吉川ら⁵¹⁾、山田ら⁵⁰⁾の報告と同様なパターンを示したが、針葉採取位置の違いや雑種性との関係も考えられ今後検討を要する。一方、クローンの樹皮、針葉形態、冬芽の色、幼球果の形態、雄花の形態の外部形態についてクロマツ5、アイグロ型4、アイマツ型3、アイアカ型2、アカマツ 1にそれぞれ点数を与え、その平均値を外観的な評価値として樹種区分した。その結果アカマツは1.00 (有田ア-49他23クローン)~4.80 (備前ア-143)、クロマツ4.00(小浜ク-24)~5.00 (津屋崎ク-50) となり、抵抗性クローン選定時の樹種区分と一致した。また、クローンの平均評価値とRDIの間には $r=0.853$ と有意に高い相関関係が認められ両者の関係はほぼ一致する傾向となった。

針葉形態については、針葉長は樹種による明確な差は認められなかった。中央径はアカマツが細くクロマツが太くなるという連続的な分布を示し、中央径とRDIの間に $r=0.875$ と有意に高い相関係数が

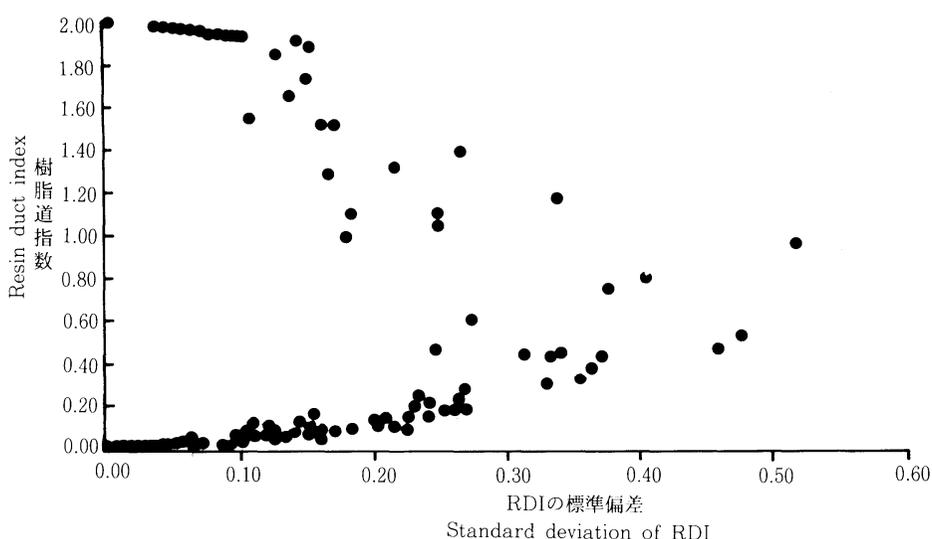


Fig.15 抵抗性クローンの樹脂道指数 (RDI) とその標準偏差
Resin duct index and their standard deviation of Resistance clone

認められており、針葉の中央径は樹種識別を行う際に利用できよう。しかし、中には外観的特徴でアイノコ型に区分したものが解剖学的に識別するとアカマツ型に区分されるなどの識別差があることから³⁰⁾、雑種性の判定には両者の総合的な評価が必要である。

そこで、各クローンのRDIを用いてアカマツ型 (RDI 0.000~ 0.500)、アイグロ型 (0.500~ 1.500)、クロマツ型 (1.500~2.000) の3分法で区分し、それに外観的な特徴も付記してTable15に示した。

RDIから見て、アカマツの中でクロマツ型に区分されるものは備前ア-143 (RDI 1.984)、大分ア-142 (1.739)、佐賀関ア-93 (1.662)、大分ア-137 (1.549)、備前ア-21 (1.527)、備前-66 (1.518) の6クローンであり、これらの外部特徴の平均評価値は大分ア-137を除いてクロマツ型の傾向を示した。一方、クロマツからアカマツ型に区分されるものは小浜ク-24の1クローンであった。また、ここにあげた各クローンの種子重 (100粒重) から見てもアカマツの範囲から外れており、いずれもクロマツの範囲内にある。特に備前ア-143は総合的に見ても著しくクロマツに近いものとして評価しても差し支えないと思われる。

2) 雑種性の利用

これまでの接種検定ではクロマツよりもアカマツが強い抵抗性を示した例が多い。

抵抗性育種事業におけるアカマツとクロマツの合格率でも明らかなように樹種による遺伝的抵抗性の差異を示した^{4,24)}。従ってクロマツの抵抗性をレベルアップする方法の一つにアカマツの持っている抵抗性をクロマツに取り込むことが考えられる。すなわち表現型はクロマツ系で抵抗性はアカマツ系というアイノコマツの利用である。Table15に示したように開花時期が同調したクローン構成による採種園を設

Table 15. 樹脂道指数を基準にした樹種区分
Classification of species by Resin duct index

アカマツ型 <i>P.densiflora</i>				アイグロ型 <i>P.densi-thunbergii</i>				クロマツ型 <i>P.thunbergii</i>							
クローン名	樹脂道指数	開花日	外部形態	クローン名	樹脂道指数	開花日	外部形態	クローン名	樹脂道指数	開花日	外部形態	クローン名	樹脂道指数	開花日	外部形態
Name of clones	RDI	Flowering date	Form	Name of clones	RDI	Flowering date	Form	Name of clones	RDI	Flowering date	Form	Name of clones	RDI	Flowering date	Form
Matsusima(d)58	0.000	4.28	1.00	Oita(d)204	0.059	4.26	1.40	Kurume(d)79	0.529	4.24	1.00	Bizen(d)66	1.518	4.18	4.80
Nankoku(d)5	0.000	4.28	1.20	Takamatsu(d)1	0.074	4.28	1.80	Bizen(d)137	0.599	4.22	3.20	Bizen(d)21	1.527	4.23	3.40
Tanabe(d)52	0.000	4.28	1.20	Saganoseki(d)165	0.075		1.00	Matsushima(d)70	0.748		1.67	Oita(d)137	1.549	4.26	1.20
Mabi(d)70	0.000	4.26	1.60	Saganoseki(d)126	0.078	4.28	1.20	Saganoseki(d)134	0.809		1.80	Saganoseki(d)93	1.662	4.20	4.60
Kumamoto(d)16	0.000	4.24	1.00	Saijo(d)8	0.079		1.40	Kasaoka(d)178	0.970	4.22	2.80	Oita(d)142	1.739	4.18	3.40
Akasaka(d)88	0.000		1.50	Uwajima(d)39	0.080	4.25	1.40	Hondo(d)1	0.993		1.67	Yasu(t)37	1.852		5.00
Okayama(d)88	0.003	4.30	2.50	Akasaka(d)163	0.084	4.26	1.60	Bizen(d)140	1.046	4.23	1.75	Tosashimizu(t)63	1.887		5.00
Uwajima(d)18	0.003	4.28	1.00	Anan(d)34	0.084		2.50	Kunimi(d)53	1.098	4.27	1.00	Obama(t)30	1.920		5.00
Saganoseki(d)113	0.005	4.26	2.00	Kunimi(d)17	0.088		1.00	Oita(d)167	1.110		1.25	Namikata(t)37	1.947	4.18	5.00
Souja(d)39	0.008	4.24	2.00	Sanyou(d)6	0.094	4.26	1.20	Konkou(d)25	1.176	4.22	2.80	Ei(t)425	1.947	4.18	5.00
Susaki(d)32	0.011	4.28	1.40	Kurume(d)18	0.101		1.20	Kurume(d)78	1.283	4.23	1.40	Tanabe(t)54	1.956	4.16	5.00
Oita(d)168	0.011	4.24	1.00	Okayama(d)85	0.104	4.26	1.60	Saganoseki(d)108	1.319	4.22	2.00	Oseto(t)12	1.965	4.18	5.00
Dazaifu(d)4	0.012	4.25	1.00	Arita(d)49	0.106	4.22	1.00	Obama(t)24	1.404	4.20	4.00	Namikata(t)73	1.969	4.20	5.00
Anan(d)55	0.012	4.22	2.60	Akasaka(d)216	0.111	4.30	1.40					Yoshida(t)2	1.976	4.15	5.00
Niihama(d)7	0.013	4.24	1.40	Yuki(d)25	0.118	4.27	2.40		13 clons			Sendai(t)290	1.976		5.00
Okayama(d)82	0.016	4.26	1.80	Kunimi(d)31	0.133		1.50					Bizen(d)143	1.984	4.16	4.50
Oita(d)198	0.017	5.02	1.40	Mabi(d)58	0.147	4.24	2.25					Shima(t)64	1.985	4.19	5.00
Oita(d)203	0.017	4.25	1.00	Uwajima(d)50	0.149		1.20					Mitoyo(t)103	1.985		5.00
Konkou(d)13	0.018	4.24	1.40	Kumayama(d)25	0.158	4.28	2.40					Misaki(t)90	1.987	4.18	5.00
Kurume(d)144	0.020	4.26	1.20	Nobeoka(d)219	0.185	4.26	1.60					Oita(t)8	1.993	4.18	5.00
Akasaka(d)179	0.021		2.00	Saganoseki(d)132	0.187	4.24	1.00					Tsuyazaki(t)50	2.000		5.00
Ariake(d)7	0.022	4.28	1.00	Susaki(d)31	0.210	4.26	1.80								
Kumayama(d)119	0.023		2.00	Niihama(d)10	0.213	4.30	1.00								
Okayama(d)132	0.024	4.24	1.00	Kasaoka(d)124	0.215	4.20	3.40								
Saganoseki(d)162	0.024		1.00	Saganoseki(d)90	0.222	4.24	1.20								
Bizen(d)150	0.026	4.23	1.80	Oita(d)269	0.237	4.22	2.00								
Uwajima(d)21	0.028	4.27	1.60	Oita(d)111	0.270	5.05	1.00								
Himeji(d)232	0.029	4.26	1.60	Tara(d)122	0.301	4.28	1.00								
Oita(d)173	0.033	4.28	1.00	Kibi(d)77	0.333	4.20	1.40								
Oita(d)186	0.033	4.24	1.00	Kamogata(d)29	0.382		2.40								
Susaki(d)27	0.040	4.26	1.60	Kurume(d)142	0.418	4.28	1.20								
Bizen(d)40	0.041	4.26	1.75	Oita(d)166	0.433	4.28	1.40								
Kumamoto(d)63	0.048		1.00	Saganoseki(d)118	0.433	4.26	1.80								
Kurume(d)118	0.053		1.00	Nisyou(d)35	0.438	4.26	1.00								
Saganoseki(d)117	0.054	4.26	2.00	Kurume(d)29	0.466	4.26	1.20								
Kumayama(d)39	0.055	4.28	2.40	Saganoseki(d)84	0.469	4.26	1.20								
Miyajima(d)54	0.056	4.23	1.00												
Saganoseki(d)170	0.059	4.28	1.75												

Note
Form was indicated the index 1 to 5 considering the stem bark type, needle shape, winter bud color, juvenile cone shape and male flower shape.

定する必要がある。大山ら²⁷⁾は自然交雑種のアノコマツで高い抵抗性を認めたことを報告しており、また、筆者ら⁴¹⁾がおこなったクロマツ×アカマツの人工交雑種の検定においても高い抵抗性を認めたことなどから雑種性の利用は可能性が高い。ただし、クローンの雑種性とその子供群の分離様式を知っておかなければならない。このことに関して筆者らも母樹の雑種性とそれから得た自然交雑苗の分離、及び抵抗性を調べた。

熊本県天草郡松島町千巖山において表現型がクロマツ型のもの9、アカマツ型4、アカマツ2の合計15母樹を選び球果を採取した。この場所に関する大山ら²⁷⁾の調査によればアカマツ65%、クロマツ30%、アノコマツ5%の混交林である。

各母樹は佐藤³⁰⁾による外観的分類基準で観察し、平吉⁹⁾の方法で100針葉のRDIを調査した。採取した種子は母樹別にまき付けて、床替の際冬芽の色で白芽、中間、赤芽に区分して床替を行い、これらの苗に材線虫を接種した。線虫系統、頭数、調査などは抵抗性家系の検定と同じ方法である。

各母樹の特徴をTable16に、母樹別の樹種型と実生後代の分離をTable17に、さらにそれらの検定結果をTable18に示した。

外部形態で分類したクロマツ型母樹はRDIとよく一致したが、アカマツ型母樹の中にはクロマツ型の2に近いRDI値を示すものもあった。

13母樹から1,690個体の実生苗が得られた。これらを母樹ごとに各個体の外観的特徴で区分すると、クロマツ型母樹からはクロマツ系個体が77%、アカマツ型母樹からはアカマツ系個体55%と中間系個体42%がそれぞれと同程度出現した。また、アカマツ母樹からはすべてアカマツ系の個体が出現した。

一方、線虫接種検定の結果、生存率はアカマツ系 > 中間系 > クロマツ系 の順となり、アカマツ系が高い抵抗性を示

Table 16. 採種個体の形質
Characters of seed source tree for distinction
P. thunbergii from *P. densiflora*

母樹の樹種型 Phenotypes	母樹 番号 Tree No.	針葉型 Needle form			冬芽色 Colors of Spine of bud	種鱗の トゲ ovuliferous scale	RDI
		樹皮色 Bark color	堅 Intension	長 Length			
クロマツ型 <i>P. thunbergii</i> type	6	暗黒色 Black	堅 Hard	長 Long	帯褐灰色 Brown gray	少有り Little	1.97
	7	"	"	"	"	無 Nothing	2.00
	8	"	"	"	"	"	1.92
	10	"	中 Middle	中 Middle	灰白色 Light gray	少有り Little	1.96
	13	"	堅 Hard	長 Long	"	無 Nothing	1.90
	14	"	"	"	"	"	1.86
	22	"	"	"	"	少有り Little	1.74
	23	"	"	"	"	"	2.00
アカマツ型 <i>P. densiflora</i> type	11	暗褐色 Dark brown	軟 Soft	"	赤褐色 Red brown	有り Some	0.83
	17	"	"	短 Short	"	少有り Little	1.72
	20	"	堅 Hard	中 Middle	"	有り Some	1.87
	25	"	軟 Soft	短 Short	"	"	0.20
アカマツ <i>P. densiflora</i>	9	赤褐色 Red brown	"	"	"	"	0.00
	26	"	"	"	"	"	0.00

した。このことは家系内に占めるアカマツ系個体の出現頻度と関連していることを示唆するものである。

しかし、中間系がクロマツ系の抵抗性より高い値を示したことから、抵抗性クローンに関しても、クロマツ及びそれに近いグループ間の自然交雑種の抵抗性の向上が期待できる。従って実生後代の樹種区分を行い、山岳地域はアカマツ系を海岸地域は中間～クロマツ系を造林するという植え分けも可能となる。

Ⅲ 抵抗性種苗の生産体制

1 九州地区の抵抗性マツの生産

抵抗性採種園から種苗が本格的に生産されるまでの間、材線虫被害跡地の造林には、人工接種検定において生き残った苗が用いられる。こうした暫定的な種苗生産を事業的に行っているのは九州では熊本営林局(熊本営林署)、と天草森林組合の2箇所である。しかし、最近材線虫の被害が増大したことから今までの生産量では対応できない状況となっており、各県では大量生産へ向けた検討が進められている。筆者らはこれまでの着花性、種子生産性等を基に九州地区における抵抗性採種園(10箇所4.86ha)から生産される抵抗性種苗の生産量を試算した。それによると園齡10年目(1997年)にアカマツ抵抗性種苗が約7.3万本、クロマツ約3.6万本、合計10.9万本と推定され、仮にすべてを接種検定した場合、生存率70%として少なくとも7.6万本の抵抗性種苗が見込まれ、これでまかなえる造林面積は約19ha(4,000本/ha)となる^{32, 47, 48)}。

Table 17. 母樹の樹種型と実生後代における分離 (%)
Classification of mother trees and seedlings segregation(%)

母樹の樹種型 Phenotypes	本数 No. of trees	実生後代の区分(冬芽の色で分類) Phenotypes of seedlings (classified by winter bud color)		
		クロマツ系 <i>P.thunbergii</i> type	中間系 Middle type	アカマツ系 <i>P.densiflora</i> type
クロマツ型 <i>P.thunbergii</i> type	1,166	901 (77.3)	242 (20.8)	23 (1.9)
アカマツ型 <i>P.densiflora</i> type	524	13 (2.5)	221 (42.2)	290 (55.3)
全体 Total	1,690	914 (54.1)	463 (27.4)	313 (18.5)
アカマツ <i>P.densiflora</i>	310	—	—	310 (100)

Table 18. 樹種型別実生後代の接種検定結果
Result of inoculation test of seedlings

母樹の樹種型 Phenotype of mother tree	実生後代の区分 class of seedling	健全率 sound rate	生存率 survival rate
クロマツ型 <i>P.thunbergii</i> type	クロマツ系	18.7	46.2
	<i>P.thunbergii</i> type		
	中間系 Middle type	29.7	54.1
	アカマツ系 <i>P.densiflora</i> type	82.7	100
アカマツ型 <i>P.densiflora</i> type	クロマツ系	30.7	53.8
	<i>P.thunbergii</i> type		
	中間系 Middle type	38.1	57.5
	アカマツ系 <i>P.densiflora</i> type	79.4	94.5
全 体 Total	クロマツ系	19.0	46.3
	<i>P.thunbergii</i> type		
	中間系 Middle type	33.7	55.7
	アカマツ系 <i>P.densiflora</i> type	79.5	94.9
アカマツ <i>P.densiflora</i>	アカマツ系 <i>P.densiflora</i> type	57.7	80.3

天草森林組合では1990年から抵抗性種苗の生産を実施しており、天草地方で独自に選抜した個体の種子等を育苗し、人工接種検定で生き残った苗木を九州各地に提供している。現在は森林組合専用の抵抗性採種圃も設定しており、計画では材線虫の増殖も手かけ、年間約10万本の種苗生産を見込んでいる。

鳥羽瀬⁷⁾によると抵抗性種苗の生産に係る10a当り(13,000本植)の労務は160.5人が必要であり、この内接種作業には30人が必要であると報告している。さらに採種源によって健全個体数が異なり抵抗性家系を用いた検定結果では高い残存率が得られることから事業的に行う場合は種子の由来について配慮する必要があるとしている。

2 検定地の違いによる検定結果

事業的に抵抗性種苗を生産する場合、残存率が重要なポイントとなる。残存率は樹種や家系抵抗性はもちろんのこと、環境条件によっても左右される。1990年に天草、菊池、西合志の3検定地で、共通なアカマツ抵抗性家系等を用いて人工接種検定を行い、検定地における結果の変動について検討した。

供試した各家系は育種場で採種、まき付けした毛苗を各検定地で育苗したもので遺伝的にはほぼ均一と考えられる。各検定地とも線虫“島原”を個体当り5,000頭を接種した。同年の気象条件は接種後60日までの平均気温は菊池20.6~28.9℃、天草20.7~29.5℃、西合志22.6~30.2℃であり、降水量は接種後40日まで菊池376mm、天草 291mm、西合志 258mmである。

試験地別の家系グループの平均健全率をTable19に示した。平均健全率は菊池>天草>西合志>の順となり、各検定地とも抵抗性家系が高く、有名マツが低い値となった。家系健全率を用いた検定地間の相関係数は菊池-西合志が $r=0.53$ 、菊池-天草 $r=0.70$ 、西合志-天草 $r=0.54$ であり、いずれも有意な相関関係が認められ、検定地による各クローンの健全率はほぼ一致する傾向がみられた。

Table 19. 3 検定地における接種検定結果
Result of inoculation test at three test field

家系群 Family group	家系数 No. of family	接種本数 No. of inoculation	検 定 地 Test filed			平均 Averag
			菊池 Kikuchi	天草 Amakusa	育種場 Breed. Inst.	
有名マツ Local variety	3	1,072	68.3	65.9	49.4	62.9
一次合格家系 Family of passed in first test	15	5,376	70.6	68.7	65.9	68.8
抵抗性家系 Resistance famiy	8	3,967	79.6	79.0	66.5	76.1
計(平均) Total(Average)	26	10,395	(74.2)	(71.7)	(64.4)	(71.0)

3 接種後の残存苗の抵抗性

抵抗性採種園から生産される種苗は直接造林に供されることになっているが各抵抗性家系の検定結果からは接種年などによって家系変異が大きくまだ十分な抵抗性を把握するまでに至っていない状況である。各家系の抵抗性が確認され、採種園の体質改善後の種苗が生産されるまで当分の間は暫定的に接種後の残存苗を用いた方が効果的と考える接種検定後の残存苗は苗畑で一応のスクリーニングが行われているため各家系の抵抗性はかなり高まっているものと予想される。従ってこれらは造林地においても未検定の抵抗性家系に較べて高い抵抗性を発揮できると推測される。九州育種場では現地の適応性を見るためには1990、1992年の両年、八代営林署管内の材線虫被害跡地に現地適応試験地を設けた。同試験地からは抵抗性に関するデータはまだ得られないが、造林特性のうち活着率など一部の情報が得られている^{1,39)}。

接種検定によるスクリーニングはかなりの効果が認めらる。ここではその一例を示す。

一次検定合格木及び精英樹を母樹にした交雑苗と母樹の自然受粉苗を2年間にわたって接種検定した実験結果である。まず、1回目の接種検定は1987年は苗木1本当たり5,000頭を接種し、2回目は前年の接種で生き残った苗に再度1本当たり20,000頭接種した。両者とも線虫系統、接種方法等はこれまでと同様であり、調査は接種60日後に行い、結果をTable20に示した。

この実験では2回目の接種頭数が前回の4倍であり、検定条件としては厳しい状態であったにもかかわらず交雑家系、自然受粉家系とも1回目の検定に較べて2回目のほうが高い生存率となり、明らかな選抜効果が認められた。

連年接種の場合、清原¹²⁾が報告しているように誘導抵抗性との関連もあるため別の接種試験を行って確かめた。この試験は熊本市立田山で選定した13個体から採種して養苗した2年生苗木を1980年に人工接種検定を行い、生き残った苗木を定植し、1981年(3年生)~1984(6年生)年の5年間連続接種を行った。その後8年接種を中断し、1992年(14年生)に再度接種したものである。苗木1本当たり接種頭数及び生存率はTable21に示した。表からも明らかなように苗畑で選抜した残存苗は接種頭数が10,000~50,000頭(1980~1982年)で高い生存率となり、また、年変動も少なかった。しかし翌1983年の150,000頭接種では生存率がかなり低下した。200,000頭接種した翌1984年の生存率は高く、これは前年の選抜強度が高かったことに起因していると考えられた。8年後の1992年に再度400,000頭接種したが120日経過した時点では、わずか5本の枯損(健全率73.7%)を認めたにすぎない。

特に1992年はこれまで残存していた精英樹クローンが枯損するなど構内のマツが枯れ易い条件にあったにもかかわらずこうした強い抵抗性を示したことは、残存個体の抵抗性がかなり高いことを示すものと考えられる。しかし、接種頭数の150,000頭で生存率が急激に低下したことからスクリーニングした抵抗性苗であっても極端に大量の材線虫が進入した場合は枯損につながることを示唆するものである。従って材線虫被害の跡地に造林する場合は、マツノマダラカミキリの集中後喰を避けるため抵抗性採種園由来の苗木を集団で植栽したり、それらの種苗を接種検定して生き残ったものを用いる等の配慮が必要である。また、造林地におけるマツノマダラカミキリの密度低下を目的とした施業も必要である。

Table 20. 1 材線虫接種後の残存苗の抵抗性
Resistance of seedlings after inoculation test

家系名 Name of families		接種年 Test year						
		1987(First test)			1988(Second test)			
雌親 (クロマツ) Mother (<i>P.thunbergii</i>)	雄親 (アカマツ) Father (<i>P.densiflora</i>)	接種数 No.of test	健全率 sound rate	生存率 survival rate	接種数 No.of test	健全率 sound rate	生存率 survival rate	
佐賀 45×日 出107 Saga 45 Hiji 107		30	86.7%	100.0%	30	76.7%	96.7%	
佐賀 45×西諸県102 Saga 45 Nisimorokata102		45	51.7	93.3	40	70.0	97.5	
岡垣 29×日 出107 Okagaki 29 Hiji 107		108	78.7	80.6	77	92.2	100.0	
裕徳 28×日 出107 Yutoku 28 Hiji 107		9	100.0	100.0	9	88.9	100.0	
大在 17×日 出107 Ozai 17 Hiji 107		15	86.7	100.0	15	73.3	86.7	
*大分ク- 45×日 出107 Oita(t) 45 Hiji 107		6	100.0	100.0	6	83.3	100.0	
*大分ク- 56×日 出107 Oita(t) 56 Hiji 107		18	88.9	100.0	18	88.9	100.0	
*津屋崎ク-158×日 出107 Tsuyazaki(t)158 Hiji 107		6	100.0	100.0	5	80.0	100.0	
選抜木交雑家系平均 Average of crossed seedlings of candidate		(237)	77.6	92.4	(200)	83.0	98.0	
肝属 11×日 出107 Kimotsukill Hiji 107		13	84.6	100.0	11	81.8	100.0	
肝属 11×西諸県102 Kimotsukill Nisimorokata102		49	32.7	51.0	24	66.7	100.0	
川辺 39×日 出107 Kawanabe 39 Hiji 107		117	60.7	66.7	75	88.0	100.0	
川辺 39×西諸県102 Kawanabe 39 Nisimorokata102		61	16.4	49.2	23	60.9	100.0	
精英樹交雑家系平均 Average of crossed seedlings of plus trees		(240)	45.0	60.8	(133)	78.9	100.0	
佐賀 45 自然受粉 Saga 45 Open pollination		293	37.5	46.8	103	55.3	89.3	
肝属 11 " Kimotukill Open pollination		122	19.7	28.7	27	48.1	96.3	
川辺 39 " Kawanabe39 Open pollination		450	8.4	12.7	50	30.0	92.0	
精英樹自然受粉家系平均 Average of open pollination seedlings of plus tree		(865)	19.9	26.5	(180)	46.1	91.1	

* 印は抵抗性育種事業で一次合格木

* The clons passed first inoculation test

Table 21. 立田山13家系の連年接種による健全率及び生存率の推移
Frequency of survival and sound rate of
thirteen family at Mt.Tatsuta

接種年 Test year	樹齢 Age	接種頭数 No.of Nematode Inoculated	接種数 No. of Tested	健全率 Sound rate	生存率 Survival rate	備考 Note
1980	2	10,000	1,680	30.8	69.9	苗畑検定 Tested at nursery
1981	3	10,000	478	80.8	81.0	現地検定 Tested at field spot
1982	4	50,000	383	95.3	100.0	" Tested at field spot
1983	5	150,000	383	20.9	23.2	" Tested at field spot
1984	6	200,000	83	75.5	85.5	" Tested at field spot
1989	11					調整間伐 Thinning
1992	14	400,000	19	73.7	73.7	" Thinning

接種は各年 7月下旬, 線虫系統は「島原」
Inoculation test is done at the late of july,
Nematode used is line of "Shimabara".
1992年の結果は同年12月4日現在
The result of 1992 is till,4,December
苗畑検定, 現地検定とも九州育種場構内
Inoculation at nursery and field spot was carried out at Kyushu Inst.

VI お わ り に

これまでの調査研究において抵抗性クローンの特性が徐々に明らかになっているが、今後は国立の各育種場においてさらに調査研究が行われるものと考えられる。今後研究すべき大きな課題は次のようなものがある。まず抵抗性クローンのクロマツについては絶対数が不足しており、適正な採種圃の維持管理の面で問題が生じることも予想されることから追加選抜が必要である。また、クロマツの抵抗性の向上についても大きな課題であり、アカマツとの交雑による抵抗性の導入が必要となる。これに関連して抵抗性の遺伝様式の解明も急がれるが、これにはβミルセンなど材線虫抵抗性の化学的要因の分析も併せて行う必要がある。

さらに抵抗性種苗が近いうちに供給されるが、せっかく造林されてもそれが生育しなければ本来の目的は達せられない。特に海岸の被害跡地の造林の場合、飛砂・潮害と材線虫との複合害も予想される。従って前生樹や下層植物があるうちに抵抗性種苗の造林を行う等効果的な方法を探索する必要があり、抵抗性種苗の造林特性、造林技術についても検討しなくてはならない。

最後に、本報末尾に現段階における低抵抗性クローンの特性一覧表を示したが今後継続した調査研究を進め、修正、補完して行く予定である。

引用文献

- 1) 千吉良治・戸田忠雄・竹内寛興・宮川貴之：マツノザイセンチュウ抵抗性苗試植検定林における枯損率調査について，九育年報20, 51～56, 1992
- 2) 藤本吉幸：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅰ）日林九支研論41, 45～46, 1988
- 3) 藤本吉幸・山手廣太・戸田忠雄・西村慶二：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅱ）日林九支研論42, 55～56, 1988
- 4) 藤本吉幸・戸田忠雄・西村慶二・山手廣太：マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業－技術開発と事業実施10か年の成果，林木育種場研報 7, 1～84, 1989
- 5) 藤本吉幸：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅲ）日林九支研論43, 45～46, 1990
- 6) 萩行治義・河野耕蔵・田淵和夫：アカマツ雌雄花芽の外部形態の変化，46年林木育種発表講演集，64～67, 1971
- 7) 林 重佐・馬場英隆・高橋泰子：ヤクタネゴヨウ松の絶滅抑止に関する森林育種学的研究 Ⅰ ヤクタネゴヨウの実態，鹿児島大学農学部演報12, 1987
- 8) 茨木親義・大庭喜八郎・山手廣太・立仙雄彦・戸田忠雄・西村慶二・松永健一郎：マツノザイセンチュウ抵抗性候補木のつぎ木苗検定，日林九支研論31, 59～60, 1978
- 9) 平吉 功・林 石根：濃野平野から越中に至る高山線沿線地域におけるアイグロ集団の分布，72回日林講，203～205, 1962
- 10) 金川 侃：ジベレリン（GA4+GA7）によるクロマツの着花促進効果，林木の育種，特別号，48～49, 1979
- 11) 岸 洋一：松材線虫病－精説，トーマスカンパニー，pp39～，1988
- 12) 清原友也：マツノザイセンチュウ病における誘導抵抗性について，森林防疫，34（16），99～102，1985
- 13) 清原友也・堂園安・橋本平一・小野 馨：マツノザイセンチュウの接種密度と加害力，日林九支研論 26, 191～192, 1973
- 14) 糟谷重夫・佐倉詔夫・岸 洋一：マツ材線虫病抵抗性マツの選抜育種－家系とクローンの比較，東大農演報83, 19～30, 1990
- 15) 三宅 登：大山アカマツの球果および種子の形質について，日林関西支講，20, 55～56, 1969, 1969
- 16) 百瀬行男：採種・穂園の管理とスギのさし木，農林出版，pp7～，1969
- 17) 森田正彦・中島 勇：枝成長から見た抵抗性クロマツ志摩64の特性，九育年報 17, 61～65, 1988
- 18) 森田正彦・中島 勇：アカマツ・クロマツ精英樹クローン of 自然感染による枯損推移，日林九支研論44, 33～34, 1990
- 19) 中井 勇・藤本博次・稲森幸雄・伊佐義朗・佐野宗一：マツ類の交雑育種に関する研究（Ⅰ）－クロマツの種間交雑ならびに他のマツ類数種との種間交雑の可能性－京大演報39, 125～143, 1967
- 20) 中村征雄：クロマツ「荒雄」の品種登録出願について，九育年報18, 124～125, 1990
- 21) 西村慶二・松永健一郎・坂本和子：精英樹におけるアカマツ，クロマツの種間交雑の試み，日林九州支部27, 63～64, 19 73

- 22) 西村慶二：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅴ）－クロマツの分類同定－，日林九支研論44, 37～38, 1991
- 23) 野口常介・渡辺 操：アカマツ精英樹クローンでの自家受粉によるタネのでき方，日林誌，54, 356～359, 1972
- 24) 大庭喜八郎・藤本吉幸・古越隆信：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
- 25) 大山浪雄・川述公弘・斎藤 明：マツノザイセンチュウ接種クロマツ苗の発病に及ぼす土壤乾燥の影響，日林九支研論28, 107～108, 1975
- 26) 大山浪雄・川述公弘・斎藤 明：マツ枯損微害地・激害地土壤による栽培マツのマツノザイセンチュウ抵抗性の違い，日林九支研論28, 109～110, 1975
- 27) 大山浪雄・白石 進：マツノザイセンチュウ病に対するアイノコマツの抵抗性，日林誌63, 4, 137～140, 1981
- 28) 小沢準二郎：針葉樹のタネ，地球出版，PP451
- 29) 斎藤幹夫・山本千秋：アカマツ・クロマツの球果における有効鱗片の位置とタネの生産，林試研報293, 89～103, 1977
- 30) 佐藤敬二：日本のマツ1，全国林業改良普及協会，PP46～，1961
- 31) 鈴木和夫：マツの材線虫病の発現機作，森林防疫326, 15～19, 1979
- 32) 田島正啓：ザイセンチュウ抵抗性マツの育種とその供給，林業技術11(608) 17～20, 192
- 33) 竹下敬司・萩原幸弘・小河誠司：西日本におけるマツの立枯れと環境，福岡県林試時報24, 1～45, 1985
- 34) 竹内寛興・大黒 正・河村嘉一郎・岡村政則：アカマツ，クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性クローンの特長（Ⅱ）－アカマツ抵抗性個体の雌雄花の開花期間－，関西支部論文集1, 205～207, 1992
- 35) 竹内寛興・戸田忠雄・田島正啓・西村慶二：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅷ）－アカマツの花穂当りの花粉量と発芽率－ 日林九支研論，投稿中，1992
- 36) TEICH, A.H.(1970) Cone serecting and inbreeding in natural populations of *Pinus banksia* and *Pinus contorta*, Canad.J.Bot. 48, 1805-1809
- 37) 鳥羽瀬正志・中村健作・宮島淳二・戸田 忠雄：マツノザイセンチュウ抵抗性種苗の生産－天草森林組合におけるスーパーマツの生産－，日林九支研論，投稿中，1992
- 38) 戸田忠雄・藤本吉幸：キリシママツのマツノザイセンチュウ抵抗性，98回日林論，261～262, 1987
- 39) 戸田忠雄・塚本 徹・内平礼四郎：マツノザイセンチュウ抵抗性苗の現地適応性，九育年報17, 55～60, 1990
- 40) 戸田忠雄・中村征雄・大久保哲也：志摩ク－64「荒雄」のつぎ木とみしょう苗の形態区分，九育年報18, 124～125, 1990
- 41) 戸田忠雄・藤本吉幸・西村慶二：アイノコマツのマツノザイセンチュウ抵抗性（Ⅲ）－クロマツ×アカマツの人工交雑の抵抗性，日林九支研論43, 43～44, 1990
- 42) 戸田忠雄・田島正啓・藤本吉幸：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（Ⅳ）日林九支研論44, 35～36, 1991
- 43) 戸田忠雄・冬野勁一：マツノザイセンチュウ抵抗性クローン集植所における枯損について，九育場

年報18, 35~40, 1990

- 44) 戸田忠雄：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの着花促進，九育年報19, 51~53, 1991
- 45) 戸田忠雄・田島正啓・西村慶二・藤澤義武：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（VI）
— 定植6年目の成長と着花性— 日林九支研論45, 43~44, 1992
- 46) 戸田忠雄・田島正啓・西村慶二・竹内寛興：マツノザイセンチュウ抵抗性クローンの諸特性（VII）
— 抵抗性クローンの着花性と種子生産性の推移— 日林九支研論46, 投稿中, 1992
- 47) 戸田忠雄：九州におけるマツノザイセンチュウ抵抗性育種— 抵抗性クローンの調査事例，林木の育種165, 4~9, 1992
- 48) 戸田忠雄・田島正啓・西村慶二・竹内寛興：九州におけるマツノザイセンチュウ抵抗性採種園からの種苗生産— 九州育種場の資料から予測した各県の抵抗性種苗の生産量，九育年報20, 44~50, 1992
- 49) 渡辺 操・岩川盈夫：マツ類の人工受粉技術ならびに種間交雑について，林試研報, 224, 125~146, 1969
- 50) 山田浩雄・半田孝俊：マツノザイセンチュウ抵抗性個体の雑種性について（I）— 樹脂道の配列状態— 関西支部論文集 1, 203~204, 1991
- 51) 吉川 賢・重松真二・永森通雄：アカマツ，クロマツの雑種に関する研究（II）— アカマツ，クロマツおよびその雑種の空間分布—，高知大農学部演報18, 1~9, 1991

付表

抵抗性クローン特性一覧表 (九州育種場クローン集植所)

Appendix Table

Characters of Resistance clones (Clone bank at Kyushu Regional Breeding office)

クローン名 Clone names	成長 Growth	着花性 Flower bearing		種子生産性 Seed production		家系抵抗性 Index of familys resistance			抵抗性クローンの樹種形態 Discrimination point of species						
		雌花 Female	雄花 Male	結果率 Cone yield	球果重 Cone weight	1990	1991	1992	樹皮色 Bark color	針葉型 Needle type	冬芽色 Winter bud	球果型 Cone type	針葉長 Length of needle	中央径 Mid-diameter of needle	樹脂道指数 RDI
1 志摩ク-64 Shima (t)-64	B	A	C	D	B			-1.6	5	5	5	5	15.9	1.00	1.985
2 津屋崎ク-50 Tsuyazaki(t)-50	B	D	C	D	A			-2.7	5	5	5	5	15.5	1.01	2.000
3 小浜ク-24 Obama(t)-24	A	C	C	D	B			-2.2	4	4	4	4	16.0	0.78	1.404
4 小浜ク-30 Obama(t)-30	A	D	D	D	D				5	5	5		13.8	0.96	1.920
5 大瀬戸ク-12 Oseto(t)-12	B	C	D	C	C			-0.6	5	5	5		13.4	0.91	1.965
6 大分ク-8 Oita (t)-8	B	A	D	B	D			-1.1	5	5	5		16.2	0.97	1.993
7 川内ク-290 Sendai(t)-290	B	D	D*	B	C			-0.1	5	5	5		12.5	0.98	1.976
8 頼娃ク-425 Ei (t)-425	A	C	D	B	D			0.2	5	5	5		14.9	0.97	1.947
9 三豊ク-103 Mitoyo(t)-103	C	D	D	C	A				5	5	5	5	15.6	1.23	1.985
10 三崎ク-90 Misaki(t)-90	B	B	C	D	D				5	5	5	5	16.1	1.07	1.987
11 吉田ク-2 Yoshida(t)-2	B	D	D*	D	D				5	5	5		15.7	1.07	1.976
12 波方ク-37 Namikata(t)-37	B	D	D	C	D				5	5	5		15.6	0.96	1.947
13 波方ク-73 Namikata(t)-73	B	C	B	A	C			-8.2	5	5	5		15.6	1.00	1.969
14 夜須ク-37 Yasu (t)-37	B	D*	D	D	D				5	5	5		14.3	0.87	1.852
15 土佐清水ク-63 Tosashimizu(t)-63	C	D*	C	D	D				5	5	5		16.5	1.07	1.887

36 大分ア-111 Oita(d)-111	A	A	D	A	D	0.1	-0.2	-2.6	1	1	1	1	11.1	0.61	0.270
37 大分ア-137 Oita(d)-137	A	B	A	C	B	0.0	-0.4	-1.9	1	1	1	1	11.1	0.62	1.549
38 大分ア-142 Oita(d)-142	+A	B	B	D	A	0.1	-0.3	-1.3	3	3	3	4	16.3	0.77	1.739
39 大分ア-166 Oita(d)-166	B	A	A	B	B	0.2	-0.4	-0.8	1	1	1	3	12.0	0.78	0.433
40 大分ア-167 Oita(d)-167	A	B	B	A	D	0.0	-0.3	-4.1	1	2	1		13.1	0.72	1.110
41 大分ア-168 Oita(d)-168	A	B	A	D	C	0.2		-1.6	1	1	1		12.2	0.63	0.011
42 大分ア-173 Oita(d)-173	B	B	B	A	C	0.0	-0.3	-2.2	1	1	1		10.9	0.59	0.033
43 大分ア-186 Oita(d)-186	A	A	B	B	A	0.1	-0.4	-4.9	1	1	1	1	14.2	0.63	0.033
44 大分ア-198 Oita(d)-198	B	B	B	A	B	0.1	-0.3	-2.7	2	2	1	1	12.6	0.65	0.017
45 大分ア-203 Oita(d)-203	B	A	D	A	A	0.0	-0.2	-4.4	1	1	1	1	10.8	0.53	0.017
46 大分ア-204 Oita(d)-204	A	B	B	B	B	-0.1		-5.6	2	2	1	1	13.1	0.68	0.059
47 大分ア-269 Oita(d)-269	A	C	A	B	C		-0.1	-3.4	3	2	1	1	11.7	0.66	0.237
48 佐賀関ア-84 Saganoseki(d)-84	B	D	C	B	B			-4.1	1	2	1	1	12.2	0.49	0.469
49 佐賀関ア-90 Saganoseki(d)-90	B	C	D	D	C	0.1		-3.6	1	2	1	1	12.1	0.73	0.222
50 佐賀関ア-93 Saganoseki(d)-93	A	A	C	B	B	0.2		-1.3	4	4	5	5	15.3	0.76	1.662
51 佐賀関ア-108 Saganoseki(d)-108	B	A	D	B	B	0.0	-0.1	-2.4	3	3	2	1	11.2	0.68	1.319
52 佐賀関ア-113 Saganoseki(d)-113	B	A	B	B	D	0.0		-0.8	3	3	2	1	15.7	0.71	0.005
53 佐賀関ア-117 Saganoseki(d)-117	B	A	B	A	A	0.0	-0.2	-1.5	3	3	2	1	13.4	0.69	0.054
54 佐賀関ア-118 Saganoseki(d)-118	B	A	A	C	B	0.1	-0.3	2.0	3	2	1		10.7	0.67	0.433
55 佐賀関ア-126 Saganoseki(d)-126	B	B	C	A	C			-2.6	2	1	1	1	10.2	0.61	0.078
56 佐賀関ア-132 Saganoseki(d)-132	B	A	B	C	D	-0.1	-0.4	-2.5	1	1	1	1	11.4	0.64	0.187
57 佐賀関ア-134 Saganoseki(d)-134	B	C	A	A	A	0.0	-0.4	-3.0	3	3	1	1	14.2	0.74	0.809

58 佐賀関 ア-162 Saganoseki(d)-162	A	C	A	B	D	0.1	-0.2	-3.8	1	1	1	1	8.9	0.62	0.024
59 佐賀関 ア-165 Saganoseki(d)-165	A	B	A	C	C	0.0	-0.5	-3.8	1	1	1		12.5	0.65	0.075
60 佐賀関 ア-170 Saganoseki(d)-170	A	A	A	A	A	0.2	-0.3	-4.7	2	2	1		12.6	0.61	0.059
61 延岡 ア-219 Nobeoka(d)-219	B	C	C	A	A		-0.2	-3.4	1	2	1	3	8.3	0.62	0.185
62 由岐 ア-25 Yuki(d)-25	B	D	A	B	A			-4.1	4	3	1	2	10.6	0.51	0.118
63 阿南 ア-34 Anan(d)-34	B	D	B	B	C			-3.0	5	3	1		10.1	0.50	0.084
64 阿南 ア-55 Anan(d)-55	C	C	D	C	C			-4.7	3	4	3	1	13.0	0.71	0.012
65 高松 ア-1 Takamatsu(d)-1	B	C	C	A	A			-3.6	2	2	2	1	11.1	0.61	0.074
66 西条 ア-8 Saijyou(d)-8	B	C	A	C	C		-0.4	-2.7	2	2	1	1	14.8	0.70	0.079
67 新居浜 ア-7 Niihama(d)-7	B	A	D	C	B	0.1	-0.2	-2.5	2	2	1	1	9.3	0.57	0.013
68 新居浜 ア-10 Niihama(d)-10	B	C	A	A	C			-1.3	1	2	1		10.5	0.53	0.213
69 宇和島 ア-18 Uwajima(d)-18	B	C	A	B	C			-2.2	1	1	1	1	8.8	0.60	0.003
70 宇和島 ア-21 Uwajima(d)-21	B	D	B	B	C			-2.6	2	2	1	1	11.4	0.55	0.028
71 宇和島 ア-39 Uwajima(d)-39	B	D	A	A	C			-3.8	1	2	2	1	9.1	0.56	0.080
72 宇和島 ア-50 Uwajima(d)-50	B	D	C	C	A			-3.4	2	1	1	1	10.0	0.63	0.149
73 南国 ア-5 Nankoku(d)-5	B	A	C	D	D			-4.4	2	1	1	1	9.4	0.59	0.000
74 須崎 ア-27 Susaki(d)-27	B	B	C	A	C			-2.2	2	1	2	2	9.5	0.59	0.040
75 須崎 ア-31 Susaki(d)-31	B	D	A	C	A			-4.6	2	2	2	2	11.6	0.63	0.210
76 須崎 ア-32 Susaki(d)-32	B	C	B	A	B			-2.3	2	2	1	1	11.9	0.56	0.011
77 姫路 ア-232 Himeji(d)-232	B	C	A	B	B			-3.2	2	2	2	1	10.9	0.61	0.029
78 田辺 ア-52 Tanabe(d)-52	C	D	C	D	D		-0.1	-3.5	1	2	1	1	11.6	0.69	0.000

79 真備ア-58 Mabi(d)-58	C	C	A	B	C	-2.5		3	2	2		13.3	0.65	0.147	
80 真備ア-70 Mabi(d)-70	C	B	D*	B	A	-3.5		2	2	2	1	11.4	0.60	0.000	
81 赤坂ア-88 Akasaka(d)-88	B	D	C	A	D	-0.3	-3.5	2	2	1		10.4	0.58	0.000	
82 赤坂ア-163 Akasaka(d)-163	B	C	D	B	C	-2.9		2	2	2	1	9.1	0.54	0.084	
83 赤坂ア-179 Akasaka(d)-179	C	D	B	D	B	-3.4		2	2	1		10.5	0.66	0.021	
84 赤坂ア-216 Akasaka(d)-216	B	B	B	A	D			2	2	1	1	10.7	0.65	0.111	
85 備前ア-21 Bizen(d)-21	C	C	A	D	B	-0.2	-1.7	3	4	3	4	13.7	0.83	1.527	
86 備前ア-40 Bizen(d)-40	C	B	D	C	D	-3.5		2	2	1	1	11.0	0.59	0.041	
87 備前ア-66 Bizen(d)-66	B	A	D	A	A	-0.1	-1.6	4	5	5	5	14.3	0.81	1.518	
88 備前ア-137 Bizen(d)-137	C	B	A	C	B	-0.1	-5.2	4	3	3	3	12.0	0.68	0.599	
89 備前ア-140 Bizen(d)-140	B	D	D	C	A	-0.2	-4.4	2	2	2	1	12.0	0.65	1.046	
90 備前ア-143 Bizen(d)-143	B	B	D*	C	C	-0.1	-2.2	4	5	5	4	17.3	0.84	1.984	
91 備前ア-150 Bizen(d)-150	C	C	B	B	C	-0.2	-5.8	3	3	1	1	11.6	0.65	0.026	
92 岡山ア-82 Okayama(d)-82	B	A	C	C	C	-0.1	-5.3	3	2	1	1	13.7	0.64	0.016	
93 岡山ア-85 Okayama(d)-85	B	C	B	B	C	-3.4		2	1	2	2	10.8	0.52	0.104	
94 岡山ア-88 Okayama(d)-88	B	B	D	C	B	0.0	-0.3	-3.8	3	3	3	1	11.6	0.68	0.003
95 岡山ア-132 Okayama(d)-132	B	A	B	C	D	-0.2	-2.0	1	1	1	1	12.6	0.57	0.024	
96 笠岡ア-124 Kasaoka(d)-124	B	B	A	C	B	-0.3	-2.7	4	3	3	3	14.1	0.68	0.215	
97 笠岡ア-178 Kasaoka(d)-178	B	C	C	D	A	-0.3	-2.0	4	3	3	1	12.4	0.71	0.970	
98 金光ア-13 Konkou(d)-13	C	C	A	A	C	-1.9		2	2	1	1	12.4	0.58	0.018	
99 金光ア-25 Konkou(d)-25	B	C	D	D	D	-0.5		3	4	4	1	10.3	0.67	1.176	

100 鴨方ア-29 Kamogata(d)-29	B	D	C	C	B	-0.4	-3.7	3	2	3	1	11.0	0.66	0.382	
101 総社ア-39 Soujya(d)-39	B	B	B	A	A	-0.3	-4.1	2	3	3	1	11.6	0.65	0.008	
102 熊山ア-25 Kumayama(d)-25	C	A	A	B	C	-0.3	-3.1	3	4	3	1	12.2	0.64	0.158	
103 熊山ア-39 Kumayama(d)-39	C	A	A	B	C	0.0	-0.3	-2.6	4	3	3	1	11.9	0.66	0.055
104 熊山ア-119 Kumayama(d)-119	C	D	C	D	B		-2.3		3	2	2		9.8	0.52	0.023
105 宮島ア-54 Miyajima(d)-54	B	D	B	C	A		-5.3		1	1	1		9.6	0.48	0.056
106 吉備ア-77 Kibi(d)-77	C	A	C	A	B		-3.3		2	2	1	1	12.9	0.52	0.333
107 山陽ア-6 Sanyou(d)-6	C	B	B	C	B	-0.3	-3.2		1	1	2	1	12.2	0.59	0.093
108 日生ア-35 Hinase(d)-35	C	C	C	D	D		-3.6		1	1	1	1	12.8	0.52	0.438

評価方法

Evaluation Method

成長：A=平均値+標準偏差以上, B=平均値±の標準偏差, C=平均値-標準偏差以下

Growth: $A > m + \sigma$, $m + \sigma < B < m - \sigma$, $C < m - \sigma$

着花性, 種子生産性: 全クローンを4等分し, 優れた方から4, 3, 2, 1で評価

Flower bearing, Production of seed: Characters of all clone was divided into four categories 4 as good to 1 as not so good

家系抵抗性: テーダマツを対象にして求めた値

Resistance of family: It was evaluated based on the value of *P.taeda* as control

樹皮色, 針葉型, 冬芽色, 球果型: アカマツ系からクロマツ系に5段階に分類し, 1~5で分類

Bark color, Needle type, Winter bud color, Cone type: Characters of all clone was divided into five categories *P.densiflora* type(1) to *P.thunbergii* (5) type

針葉長: 30針葉の中央径の平均

Length of needle: Average of mid-diameter about thirty needles

樹脂道指数: 平吉⁹⁾の式によって求めた値

Resin duct index: Value by expression of Hirayoshi⁹⁾

*: これまで着花の無かったクローン

Non flowering until now

Resistance breeding to the Pine Wood Nematode in Kyushu district.
—Progress of study after selection of the resistance clones—

Tadao TODA, Masahiro TAJIMA., Keiji NISHIMURA,
and Hirooki TAKEUCHI,

Summary

One hundred and eight resistance clones to pine wood nematode, 92 Japanese red pine (*P.densiflora*) and 16 Japanese black pine (*P.thunbergii*), were decided finally in 1984 through the double inoculation test. The clones decided have been used in 34 seed orchards at 21 prefectures and seed production has already began. The resistance clones have still indistinct characters such as with regard to flowering, seed productivity or resistance of offsprings, etc. If these indistinct characters are made clear, then the seed orchard management will progress efficiently hereafter. This article was summarized using part of the data obtained from the clonal archives established at Kyushu Breeding Office. Concerning the growth of both pine species, the black pine clone is superior to the red pine clone, but the variation of tree height ranking among the red pine clones was larger than that of the black pine clone. From the results, 40% of the red pine clones and 80% of the black pine clones at 7 years old have to have their stems cut at 5m above ground if the seed orchard is established by the ordinary method. Female flower production of the red pine clone began early from 2 years old and all of the clone have already produced the female flower at 4 years old, however the 80% of the black pine clones, except for 2 out of 16 clones, produced the female flower with difficulty at 6 years old. But the amount of female flower of both species varied according to the age and the clones, and an especially poor harvest was observed with the red pine clone in the seventh year. Both of the annual variation and female flower productivity of the black pine clone are lower than those of the red pine clone and the female flower production according to tree age has a tendency to increase gradually. On the other hand, male flower production of the black pine clone was lower than that of the red pine clone and it was suggested that the amount of pollen in the black pine clone seems to be lacking in the seed orchard. Flowering habits of female and male are considered to be hereditary because the correlation coefficient of years for male and female flower production was high were significant. The seed production of the black pine clone was lower than that of the red pine clone and cone yields of the red pine clone and the black pine clone were 85.7% and 70.0% respectively.

Number of seed grain per cone of the red pine clone and the black pine clone was 14.7 grains and 5.8 grains respectively and these values were low compared with the results of general red pine or black pine. Because the correlation coefficients between the characters of cone weight, seed weight and number of seed per cone were high, an increase in seed production should be expected by improvement of seed tree maintenance such as pruning, thinning and fertilization. The potential resistance of the red pine families to the pine wood nematode was higher than that of the black pine families. Resistance of families to the resistant clones was higher than that of non selected pine trees and distinct selection effects were recognized but reappearance of the family resistance varied over the by years and seemed to be more or less low.

The causes of this were considered to be circumstantial factors such as weather or soil conditions except the resistance, so in order to reach a decision on the true resistance of the pine families it is necessary to accumulate the annual data of the inoculation test. Because the morphological characters such as resin duct index, winter bud color of some of the red pine clone were similar to those of the black pine clone, the possibility of natural hybridization between both pine species if used it as red pine and the improvement of current resistance if used it as black pine should be expected in the future. From the results of annual inoculation test, it is safe for reforestation to be used survival seedlings after inoculation until seeds will be produced from the seed orchard. Continuous survey and study of the resistance clones is necessary because the resistance clones have several unknown characters.