

【研究報告】

マツノザイセンチュウ抵抗性育種

(県単課題 平成13～17年度)

渡邊 次郎
小澤 創
斎藤 寛
陳 宏玲
渡邊 敦史

目 次

要 旨	10
着花特性と分子マーカー情報で明らかになったマツノザイセンチュウ抵抗性 アカマツ暫定採種園の問題点	11
マツの大量つぎ木技術の確立	17
マツの大量つぎ木技術の改良	24
マツ穂木の保存方法とその期間がつぎ木の活着に及ぼす影響	28
クロマツ 齢級母樹からの穂木を用いたさし木試験	33
謝辞	38
引用文献	38

要 旨

暫定採種園の構成クローンの着花量および種子生産量を調査した。また、マイクロサテライトマーカーを用いて暫定採種園から採取された種子の花粉親の同定を行った。着花量は2001年5月に調査区内の全ラメートについて調査した。2002年10月にクローン毎に種子の重量を測定した。花粉親の分析は2001年に採取した種子について3つのマイクロサテライトマーカーを用いて分析した。その結果、雄花、雌花とも暫定採種園を構成するクローン間で大きな偏りがあることが明らかになった。特に三本木5は、全雄花量の9割近く、全雌花量と全生産種子量のほぼ5割を占めており、暫定採種園における生産種子の多様性が著しく損なわれている可能性が示された。しかし、雄花量の差が単純に交配の結果に反映しておらず、三本木5の花粉親として寄与の大きさは全雄花量に占める割合ほどではないことが示された。これらの結果から種子親や花粉親の構成クローンの偏りについては着花量を人為的に制御することや人工交配によって苗を生産する必要があることから、苗の供給方法についても再考すべきであると考えらる。

マツのつぎ木はマツノザイセンチュウ抵抗性育種を進める上で重要な技術であるが、当センターではこの技術が確立されていなかったため、選抜育種を開始した1987～1995年度

受理日 平成18年5月10日

中華人民共和国湖北省林業局、 独立行政法人林木育種センター

までの10年間のつぎ木活着率は約20%であった。このため、研究材料の確保や1991年度から開始された東北地方等マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業を進める上で大きな障害となっていた。そこで、マツの活着率に大きく関わる要因の究明と養生方法の確立、さらにつぎ穂作りやつぎ穂と台木の接合部固定の方法を改良するための試験を行った。その結果、つぎ木を成功させるためには、空中湿度を約60%以上に保つことが必要であることを突き止め、これを確保できる二重構造のビニールハウスを考案した。さらに、つぎ木を容易にするためつぎ穂の針葉数を調整しないでつぎ木し、つぎ穂と台木の接合部を目玉クリップで固定する方法を採用して、活着率を低下させずに、大幅に労力を軽減し、誰にでも容易につぎ木ができるように改良した。

これまで進めてきたマツノザイセンチュウ抵抗性選抜育種は全て本県の浜通り地方のみで実施してきたため、遺伝的多様性に優れた抵抗性種苗を作出するためには、県内全域から抵抗性アカマツを選抜して採種園を造ることが望まれる。しかし、積雪が多い地域でこれを行うためには、マツのつぎ木時期の問題があり穂木の保存方法や期間等、つぎ木の活着率に及ぼす影響を把握する必要がある。このため、多雪地帯である会津地方において2003年11月5日～2004年2月21日までの間に4回にわたって採取したアカマツ80年生と40年生の抵抗性候補木の穂木を用いて、保存方法と保存期間を変えてつぎ木試験を行った。その結果、アカマツの穂木は、苗木貯蔵箱に入れて0～3の冷蔵庫で保存すれば25日を経ても80%活着することが分かった。また、穂木の保存に水で湿らせた広葉樹のおが屑や、穂木の切り口を水で湿らせた水苔で保護することで、保存期間が132日を経ても30%以上活着することも分かった。これらの結果からこの方法は、多雪地帯での抵抗性アカマツの選抜に有効であり、広葉樹おが屑等の含水率の調整によりさらなる活着率の向上も期待できるものである。

つぎ木以外にマツ（アカマツ、クロマツ）母樹の形質を確実に受け継ぐことができる方法としてさし木がある。これまでの研究で2年生母樹からのさし木であれば容易に発根することや、加齢に伴って発根率が低下することが報告されている。当センターでは、年齢級（36～40年生）のクロマツ母樹から採取した穂木をつぎ木して得た伸長枝をさし木する工夫を加えた。中粒鹿沼土、中粒鹿沼土と粒状パーライトの混合土、中粒鹿沼土とパーミキュライトの混合土にさし木し、25の温床を用いて試験をした結果、初めて発根が認められ、今後の樹齢の高いさし木に大きなヒントを得ることができた。また、抵抗性マツ苗のクローンを効率よく作るため、母苗の苗齢が3年生の主軸を切断して発生させた萌芽を、年齢級のマツと同様に試験をした結果では発根率は温床使用で平均39.2%であった。

着花特性と分子マーカー情報で明らかになったマツノザイセンチュウ抵抗性アカマツ 暫定採種園の問題点

1 はじめに

(1) 全国のマツノザイセンチュウ抵抗性苗の供給状況

マツノザイセンチュウ抵抗性（以下、抵抗性とする）苗は、抵抗性品種で作られた採種園から取れた種子を用いて供給することが、林野庁によって策定された「東北地方等マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業実施要領」（以後、実施要領）で決められている。そのため、採種園を造成するには種苗配布区域内の抵抗性の品種が数多く必要である。アカ

マツは2005年現在、全国で135品種が抵抗性として開発された¹⁾。福島県の種苗配布区域外（区）では早くから92品種が開発されていたが、配布区域内（区）では、2001年に初めて1品種が開発され、その後、2005年には43品種になった。一方、クロマツは2005年現在、41品種が開発され、全ての品種を中・浜通りで使うことができる。

東北各県ではこのように使える品種が近年まで少数もしくは全く無い現状であった。そのため、アカマツでは1997～2001年にかけて一次検定合格木を用いて暫定的な採種園が作られた²⁾。その後、これらの品種の多くが二次検定も合格し、抵抗性品種として認められてきている。一方、クロマツは近年に開発された東北地域の抵抗性品種を用いて採種園が作られた。

東北以外では開発された抵抗性品種等を用いて早くからクロマツやアカマツの抵抗性採種園を造成し、事業的に抵抗性苗を供給している³⁾。これらの地域で2002年に販売された苗数は34万本で、価格は安いものは41円/本、高いものは1,600円/本である³⁾。

（2）福島県のマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業の現状

福島県では松枯れ被害の拡大に伴って1987年度にマツノザイセンチュウ抵抗性育種に関する県単研究課題の中で抵抗性木の選抜に着手した。その後、1992年度から10ヵ年計画で東北地方のマツノザイセンチュウ抵抗性育種事業が開始された。関東育種基本区に区分される福島県はこれを契機に、林木育種センター東北育種場および東北育種基本区内の各県と連携して抵抗性育種事業を行ってきた。

実施要領では抵抗性個体が確定し、抵抗性採種園が造成されるまでの間、1次検定合格木等により「暫定採種園」を造成し、苗を供給する体系になっている⁴⁾。福島県では、1996年3月、東北育種場から1次検定に合格したアカマツ⁵⁾のうち10クローンが2年生もしくは3年生のつぎ木苗で配布され、2年後の1998年3月には福島県相馬郡新地町にクローン配置型9型、植栽間隔3.5m×3.5mとなる暫定採種園を造成した（図-1）。

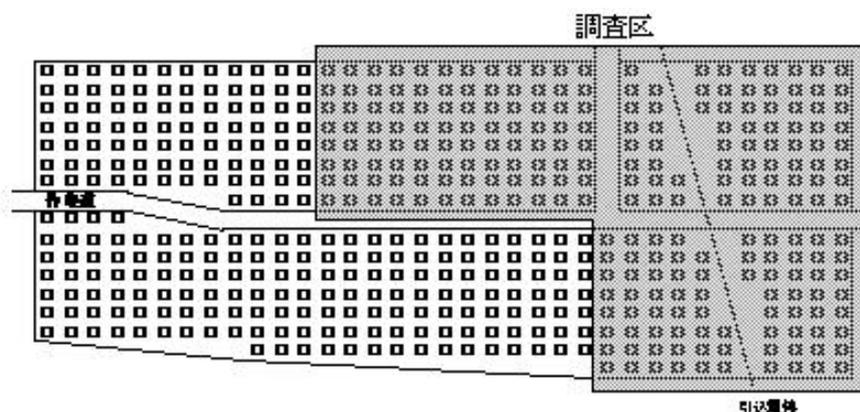


図-1 マツノザイセンチュウ抵抗性暫定採種園（福島県相馬郡新地町）と着花量の調査を行った調査区の概要

暫定採種園に植栽した10クローンは青森県、岩手県、宮城県、新潟県の精英樹から選抜されたものである（表-1）。2002年3月には、福島県内で選抜され、1次検定に合格した6クローンが新たに植栽された。最近になって暫定採種園から種子採取が可能となり（図-2）、本格的に抵抗性苗を供給する体制を整え始めている。

表-1 暫定採種園に植栽されているクローンの概要

クローン名	県名	植栽年	植栽数	着花量 調査数	樹高 (n=5)			DBH (n=5)		
					平均 (cm)	±	SD	平均 (cm)	±	SD
三本木 5	青森	1998	41	23	354	± 20		5.5	± 0.5	
岩泉 101	岩手	1998	30	5	309	± 31		3.4	± 1.1	
一ノ関 101	岩手	1998	36	13	289	± 28		3.8	± 0.8	
上閉伊 101	岩手	1998	40	17	358	± 59		4.8	± 0.8	
盛岡 1	岩手	1998	16	0	246	± 45		2.0	± 0.7	
岩手 104	岩手	1998	7	0	301	± 50		2.4	± 1.2	
牡鹿 102	宮城	1998	39	19	254	± 41		3.2	± 0.9	
宮城 101	宮城	1998	40	19	315	± 49		4.4	± 1.2	
北蒲原 2	新潟	1998	43	19	283	± 53		4.2	± 1.2	
刈羽 102	新潟	1998	45	22	313	± 22		4.9	± 0.8	
福島アカ 8	福島	2001	27	16	107	± 17		1.8	± 0.2	
福島アカ 23	福島	2001	29	19	97	± 32		1.4	± 0.4	
福島アカ 25	福島	2001	32	22	92	± 11		1.7	± 0.2	
福島アカ 26	福島	2001	34	19	114	± 26		1.7	± 0.4	
福島アカ 91	福島	2001	5	5	89	± 25		1.7	± 0.2	
福島アカ 94	福島	2001	9	7	103	± 20		2.0	± 0.3	

樹高とDBHは2003年の値で採種園から任意に選んだ5ラメートの値である。

(3) 採種園に関する問題点

本格的な苗の生産が開始される段階に入る前に、暫定採種園の持つ問題点を適切に把握することが必要である。実際、多くの研究事例から採種園が抱える問題点が明らかとなっている⁶⁻¹⁰⁾。例えば、採種園を構成しているクローンの種子生産量は各クローン均等ではないこと^{11,12)}や、構成クローンが等しく花粉親として貢献していないこと¹³⁾が明らかになっている。これらの事例は当県の暫定採種園にも十分に当てはまることが考えられる。さらに、抵抗性のない花粉によって生じた実生苗は抵抗性のある花粉によって生じた実生苗よりも抵抗性が

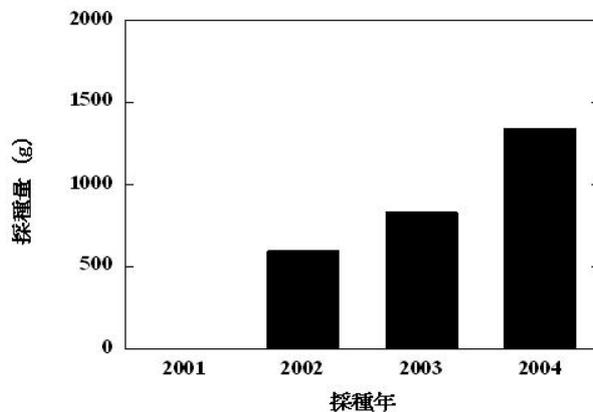


図-2 暫定採種園における採種量
2001年は球果は確認されたが、採種は行っていない。

低くなるという指摘がなされており^{14,15)}、暫定採種園における園外からの花粉飛散を把握する必要性もある。これらのことから、現在の暫定採種園が抱える問題点を把握し、適切な採種園管理と経営を目指さず必要がある。

(4) 本調査の目的

暫定採種園の構成クローンの着花量および種子生産量を調査し、さらに、マイクロサテライトマーカーを用いて暫定採種園から採取された種子の花粉親の同定に着手した。本調査では、これらの結果から現時点で明らかになった暫定採種園の問題点と、考えられる対応について考察する。

2 調査内容

(1) 雄花・雌花の着花量と生産種子量

2002年4月に暫定採種園内に調査区を設置し(図-1)、同年5月に調査区内の全ラメートについて着花量を調査した。2003年10月に調査区を含めた暫定採種園全体からクローン毎に球果を採取し、種子を精選後、重量を測定した。その後、種子は4℃で保存した。

(2) 花粉親の同定

花粉親の同定には福島県以外の4県から選抜された10クローンを対象とした。2002年10月に暫定採種園全体からクローン毎に球果を採取し、種子を精選した後に4℃で保存した。その後、2003年4月に当センター内の苗畑に播種した。2005年3月、1母樹あたり20~50個の実生苗を選定し、針葉を採取した。同様に、2005年4月に暫定採種園に植栽されている母樹(種子親)10クローンから針葉を採取した。全試料は分析を行うまで-20℃で保存した。DNAの抽出はCTAB法で行い¹⁶⁾、3つのマイクロサテライトマーカー(渡邊ら、未発表)を用いて分析を行った。種子親と実生の遺伝子型に基づいて、父性解析ソフトウェアCERVUS ver.2.0を用いて花粉親を決定した。

3 結果と考察

(1) 着花量と種子量

雄花量は構成クローンによって差が認められた(表-2)。岩泉101、上閉伊101を含む5クローンは、全てのラメートで雄花が確認できなかった。一方、調査した全てのラメートで雄花が確認されたのは三本木5であった。三本木5の雄花は調査区全体で1,621個が確認され、全雄花量の88%を占めた。雌花量も雄花量と同様にクローンによって差が認められた。一ノ関101と牡鹿101は調査区平均でラメートあたり1.5個の雌花しか確認されなかった。逆にどのラメートにも多くの雌花をつけたのは三本木5であった。このクローンの雌花は調査区全体で3,940個が確認され、全雌花数の47%を占めていた。種子量はほぼ雌花量を反映しており、雌花量が最も多かった三本木5は372.4gで、全体の45%を占めた。

着花量、種子量とも暫定採種園を構成するクローン間で大きな偏りがあることが明らかになった。三本木5は生産種子量が採種園全体の半数近くを占めており、他の報告と比較しても高い値を示した^{11,12)}。現在の体系では接種検定した生存苗を山出し苗として供給する。従って、必ずしも生存苗の種子親の構成割合は生産された種子の構成割合とは同一ではない。しかし、暫定採種園に植栽されたクローンの実生家系の生存率はクローンによってそれほど差がないことが示唆されており^{17,18)}、生存苗の種子親の構成割合が大きく変化する可能性は低い。さらに、三本木5の雄花数は全体の約9割を占めており、他の報告と比べても雄花量が極端に偏った事例と考えられた¹⁹⁻²¹⁾。この雄花量の偏りは暫定採種園

から生産された種子の花粉親の構成も偏りがある可能性を示唆している。

表-2 各クローンの着花量と種子量

クローン名	着花量 (2002年)							種子量 (2003年)			
	雄花			雌花			n	g	($)$($)$)	g/本	n
	個	(%)	個/本	個	(%)	個/本					
三本木 5	1,621	(88.4)	70.5	3,940	(47.2)	171.3	23	372.4	(44.8)	9.1	41
岩泉 101	0	(0.0)	0.0	20	(0.2)	4.0	5	6.7	(0.8)	0.2	30
一ノ関 101	34	(1.9)	2.6	20	(0.2)	1.5	13	12.7	(1.5)	0.4	36
上閉伊 101	0	(0.0)	0.0	188	(2.3)	11.1	17	4.5	(0.5)	0.1	40
盛岡 1	0	(0.0)	-	0	(0.0)	-	0	23.6	(2.8)	1.5	16
岩手 104	0	(0.0)	-	0	(0.0)	-	0	10.2	(1.2)	1.5	7
牡鹿 102	13	(0.7)	0.7	29	(0.3)	1.5	19	13.9	(1.7)	0.4	39
宮城 101	59	(3.2)	3.1	695	(8.3)	36.6	19	83.5	(10.0)	2.1	40
北蒲原 2	29	(1.6)	1.5	1,297	(15.6)	68.3	19	91.4	(11.0)	2.1	43
刈羽 102	71	(3.9)	3.2	1,683	(20.2)	76.5	22	172.9	(20.8)	3.8	45
福島アカ 8	2	(0.1)	0.1	87	(1.0)	5.4	16	11.8	(1.4)	0.4	27
福島アカ 23	0	(0.0)	0.0	62	(0.7)	3.3	19	3.7	(0.4)	0.1	29
福島アカ 25	1	(0.1)	0.0	73	(0.9)	3.3	22	3.6	(0.4)	0.1	32
福島アカ 26	3	(0.2)	0.2	174	(2.1)	9.2	19	19.1	(2.3)	0.6	34
福島アカ 91	0	(0.0)	0.0	39	(0.5)	7.8	5	0.5	(0.1)	0.1	5
福島アカ 94	0	(0.0)	0.0	33	(0.4)	4.7	7	1.3	(0.2)	0.1	9
	1,833	(100.0)		8,340	(100.0)			831.8	(100.0)		

着花量は調査区内の値、種子量は暫定採種園全体の値である。

(2) 花粉親の解析

まず、種子親となる10クローン全ての遺伝子型を決定し、全てのクローンを識別した(表-3)。次に、宮城101、刈羽102、北蒲原2の3母樹から得られた実生苗をマイクロサテライト分析し、花粉親を決定した(表-4)。最も花粉親として寄与していたのは三本木5であり、調査した3家系でそれぞれ12.8~27.4%、調査個体全体では18.4%を占めた。次に宮城101の割合が高く、調査個体全体では11.7%であった。逆に、上閉伊101や北蒲原2は調査個体全体で1%~1.9%が花粉親として認識されただけであり、花粉親としての寄与はきわめて低かった。

三本木5の花粉親としての寄与は着花量の調査から予想されたほど大きくなかった。この結果に対する理由として、

表-3 暫定採種園に植栽されているクローンの遺伝子型

クローン名	プライマー名					
	ispd012		ispda006		ispdg002	
	(bp)	(bp)	(bp)	(bp)	(bp)	(bp)
三本木5	142	153	147	168	115	130
岩泉101	142	144	147	173	113	115
一ノ関101	140	144	170	173	121	
上閉伊101	144		160	168	93	103
盛岡1	137	144	181	197	130	134
岩手104	142	158	170		101	103
牡鹿101	142		147		91	107
宮城101	144		162	185	125	128
北蒲原2	137	149	147		101	115
刈羽102	131	135	142	154	93	115

遺伝子型はマイクロサテライト遺伝子座をPCR増幅した際のフラグメントサイズを表している。

雄花数のクローン間差は年次変動があり、今回分析した種子の形成に関わった雄花のクローン間差は着花量調査の結果（表-2）とは異なっていたことが考えられる。また、雄花数の差が単純に交配の結果に反映していないことも考えられる。植栽されているクローンの樹高の差はほとんどないことから（表-1）、周囲木の配置や開花期のずれなど別の因子が作用している可能性が考えられる。

表-4 宮城101, 刈羽120, 北蒲原2の実生の花粉親解析の結果

花粉親 クローン名	種子親クローン名			合計
	宮城101	刈羽102	北蒲原2	
三本木5	5 (12.8)	8 (19.0)	6 (27.3)	19 (18.4)
岩泉101	4 (10.3)	1 (2.4)	3 (13.6)	8 (7.8)
一ノ関101	2 (5.1)	6 (14.3)	1 (4.5)	9 (8.7)
上閉伊101	1 (2.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (1.0)
盛岡1	3 (7.7)	1 (2.4)	0 (0.0)	4 (3.9)
岩手104	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (4.5)	1 (1.0)
牡鹿101	3 (7.7)	4 (9.5)	1 (4.5)	8 (7.8)
宮城101	5 (12.8)	5 (11.9)	2 (9.1)	12 (11.7)
北蒲原2	0 (0.0)	1 (2.4)	1 (4.5)	2 (1.9)
刈羽102	2 (5.1)	0 (0.0)	1 (4.5)	3 (2.9)
不明	14 (35.9)	16 (38.1)	6 (27.3)	36 (35.0)
合計	39 (100.0)	42 (100.0)	22 (100.0)	103 (100.0)

花粉親が不明であり、園外花粉と考えられた割合は調査個体全体で35%（36個体）であった。これは雄花量が最も多い三本木5よりも16.6%高い。これまでの研究例でも2.2~70%の園外花粉率が報告されており⁹⁾、抵抗性のない花粉によって抵抗性が低下すること¹⁵⁾や経済的な影響²³⁾を考慮すると無視できない量であった。

(3) 適切な採種園経営に向けた課題

福島県の暫定採種園における問題点の把握は緒についたばかりであり、本報告で得られた結果に基づいて結論を下すのは適切ではない。着花量の調査については、年次変動を捉えた上でクローン間差の有無を把握する必要がある。また、花粉親の同定については分析規模をより大きくすることによって信頼性の高い結果を導く必要がある。しかし、暫定採種園について再考すべき課題が存在することが示唆されたことも事実であり、以下に得られた課題と現在考え得る対応について論じる。

種子親や花粉親としての寄与の偏りが普遍的である場合には、BAPを用いた着花量の人為的制御²²⁾について検討する必要がある。

また、苗の供給も種子親と花粉親の構成クローンの偏りをできるだけ是正して苗を供給する必要がある。種子親の偏りについてはクローンごとに採種し、接種するクローンあたりの苗数を統一する。花粉親については検定後の生存苗について花粉親を同定し、各クローンの花粉親の構成を均等にして供給する。このことで、種子親と花粉親の偏りを是正することができる。ところが、分析にかかる労力とコストが多大になり、接種検定数自体も莫大となると考えられることからあまり現実的ではない。

むしろ、人工交配を導入することで諸問題を積極的に解決できると考えられる。種子親もしくは花粉親の寄与率が人為的に制御できる上、園外花粉の影響を無視することができる。さらに、家系間の人工交配による苗の生存率を把握することが出来れば、家系間の抵抗性の強弱が明確になるだけでなく、生存率の明確化に伴う接種検定の省略もしくは簡素化も可能である。

4 おわりに

東北地方におけるマツ枯れの被害は沈静化のきざしがなく、被害林の復旧に抵抗性マツの提供を求める声は年々高まっている。その一方で、現在の福島県の施設では実生苗の接種検定は1,000本/年が最大であり、仮に接種による枯損率を50%とした時、年間に供給できる苗数は500本である。この苗数では4,000本/haの植栽を行ってもわずかに0.13haしか造林できない。他県と同様に³⁾未検定苗の供給を考慮する必要がある。

また、最終的に苗を必要としているのが植栽者であり、現在の抵抗性苗の価格を考慮すれば³⁾、苗の供給だけでなく現状に関する情報も提供することが必要である。今後は、抵抗性苗生産から植栽までの一連の流れを視野に入れて研究に取り組む必要がある。

なお、本研究は小澤創、渡邊次郎、陳宏玲、渡邊敦史が担当し小澤がとりまとめた。研究の一部を東北森林科学会大会²⁴⁻²⁶⁾と林木の育種²⁷⁾に発表した。

マツの大量つぎ木技術の確立

1 はじめに

当センターでは、マツノザイセンチュウ抵抗性マツ（以下「抵抗性マツ」という）の選抜に1987年から取り組み、マツノザイセンチュウ抵抗性候補木（以下「候補木」と言う）を用いてザイセンチュウを接種して抵抗性検定を実施してきた。しかし、アカマツやクロマツ（以下「マツ」という）の大量つぎ木や養生などつぎ木に関する一連の技術が確立されていなかったため、1995年までの10年間のつぎ木（アカマツは候補木個体数152本でつぎ木本数7,215本、クロマツは候補木個体数182本でつぎ木本数10,009本）の活着率はアカマツ、クロマツを問わず20%程度であった。そのため、マツノザイセンチュウ抵抗性一次検定（以下「一次検定」という）を行うためのつぎ木苗の本数が確保できなかった。



写真 1 以前行っていたつぎ木法

したがって、一次検定実施率も穂木を採取した候補木個体数の30%程度と低かった。これは、つぎ木の活着に影響を及ぼす気温や湿度などの環境因子が明確でなかったためであった。このため、つぎ木の活着に影響を及ぼす因子を明らかにすることを目的として、20

02年にこれまで使用してきた養生施設と改良を加えた養生施設を用いてつぎ木試験を行い、環境因子の測定を行った。その結果、つぎ木の活着に影響を与える因子をおおよそ特定し、活着率を大幅に向上させることに成功した^{27,28)}。

2 試験の内容

つぎ木の活着に影響を及ぼすであろう環境因子として、気温・湿度・地温をとりあげた。そして、今までつぎ木養生施設として使用してきた以下の環境下で各1因子ずつ測定した(図-3、4)。

ア 屋外(対照、図-3)

イ 通常のビニールハウス(1987~1996年度まで使用、図-3)

ウ 外ハウス(1999年度から使用、図-3)

エ 内ハウス(1997年度から使用、図-3)

オ 部分保湿(1987~1996年度まで使用、図-4)

「外ハウス」とは、通常のビニールハウスの内側全面に遮光率60%の白冷紗を張って、ビニールハウス内の遮光率が70%になるように調整したものである。「内ハウス」とは、外ハウスの内側に小型のビニールハウスを設置したものである。「部分保湿」とは、鉢植えしたつぎ木苗の接合部をプラスチック容器で覆ったものである。温度と湿度の測定は、パトス温室計を用いて地上高1.0m、内ハウスのみ0.5mで9~17時まで2時間毎に行った。また、地温は10cmでバイメタル地温計サーモ280を用いて3時間毎に測定した。測定はつぎ木のカルス形成に必要な期間である2ヵ月間²⁹⁾(2002年2~3月まで)をとおして行った。

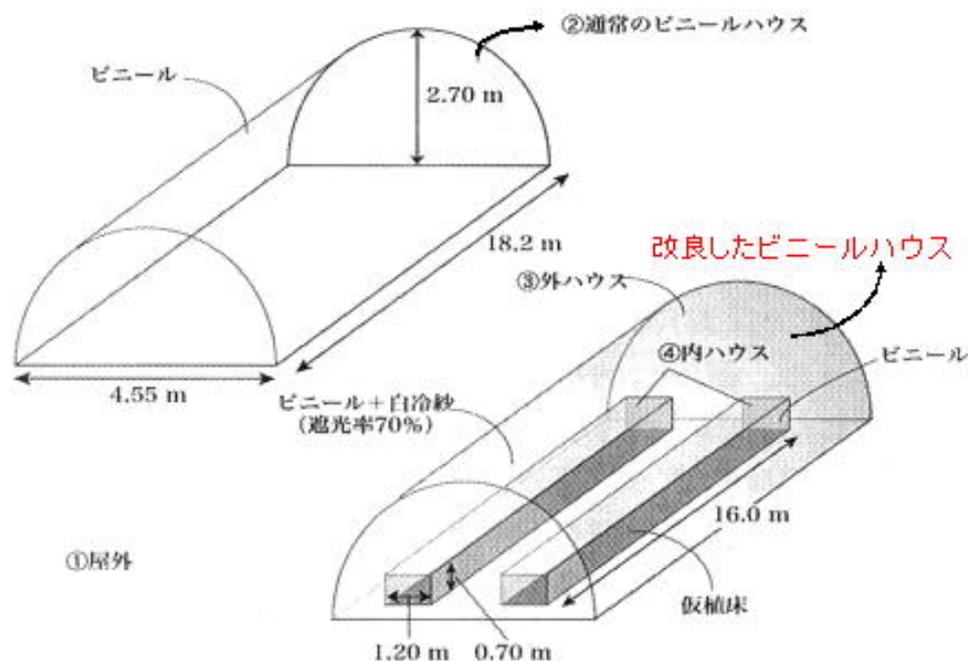


図-3 養生施設の概要

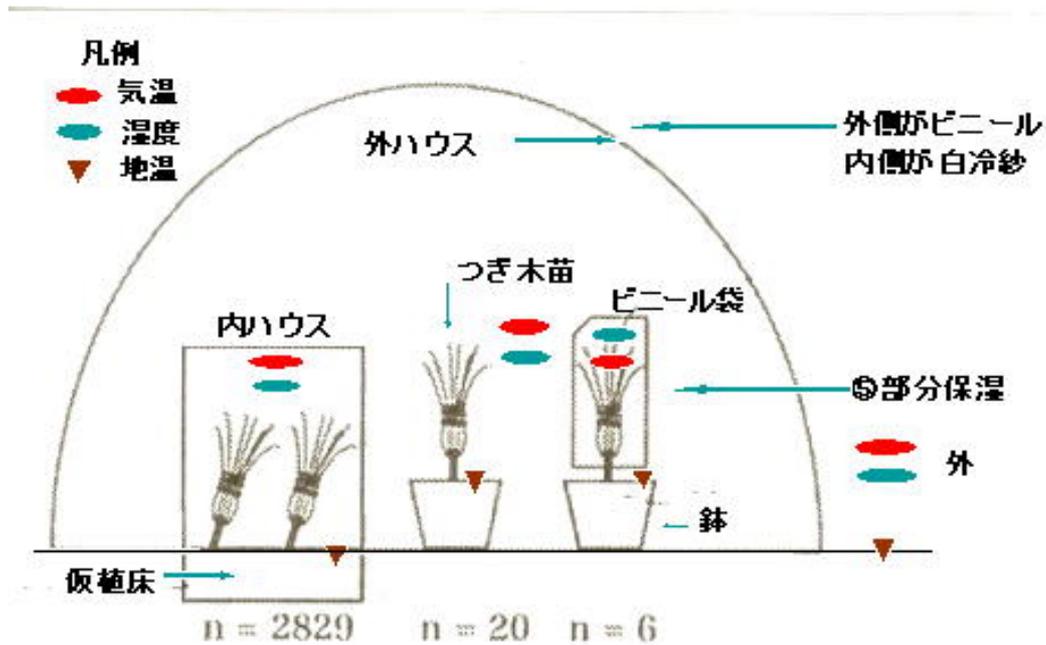


図-4 各保湿条件毎に気温・湿度・地温と活着率を調査

上記の環境条件のうち、「外ハウス」、「内ハウス」、「部分保湿」の3条件下でつぎ木苗を養生し、その活着率を調査した(図-3)。供試苗木数は、外ハウスは鉢植えのつぎ木苗で20本(アカマツ10本、クロマツ10本)、部分保湿はアカマツ6本(温湿度計はアカマツ1本に対して1個)、「内ハウス」は上げつぎで2,829本(アカマツ748本、クロマツ2,081本)である。

3 結果と考察

(1) つぎ木の活着に影響を及ぼす環境因子

各施設の気温、湿度と地温を図-5に示した。屋外は気温、湿度、地温とも他の施設よりも低かった。気温と地温は最高で15.3 および12.6 までしか上がらず、湿度は最低19.3%に低下した。通常のビニールハウスの気温や地温は、他の施設よりも1日の変動が非常に大きかった。気温と地温は、それぞれ8.0~38.0、11.0~27.7 であり、湿度は33.3~86.0%であった。

一方、内ハウス(図-3の)、外ハウス(図-3の)や部分保湿(図-4の)の気温や地温は通常のビニールハウスよりも安定しており、3つの施設ともほぼ同様な傾向を示した。3つの施設間で最高気温は24.9~28.4 であり、最高地温は19.4~21.3 であった。1日の変動は気温が最高で18.8 以内(部分保湿)、地温は最高で13.1 以内(内ハウス)であった。湿度は内ハウスが他の施設よりも高い傾向を示した。内ハウスの最低値が61.6%であったが、外ハウスでは36.1%、部分保湿では49.3%であった。

マツの呼吸と物質生産は日中がもっとも盛んである^{30,31)}。一方で、多くの木本種では日中は高温や乾燥による水ストレスを受けやすく、光環境が良くても気孔を閉じ、蒸散や光合成が低下することが知られている^{30,31)}。また、つぎ木の活着にはカルス形成が重要であ

り、カルス形成にはある程度の高温と高湿度が必要であることが知られている³²⁾。
 これらのことから、つぎ木の成長と活着には日中につぎ木苗が受ける水ストレスをできるだけ抑制しながら、適切な高温と高湿度状態を維持することが必要であると考えられる。

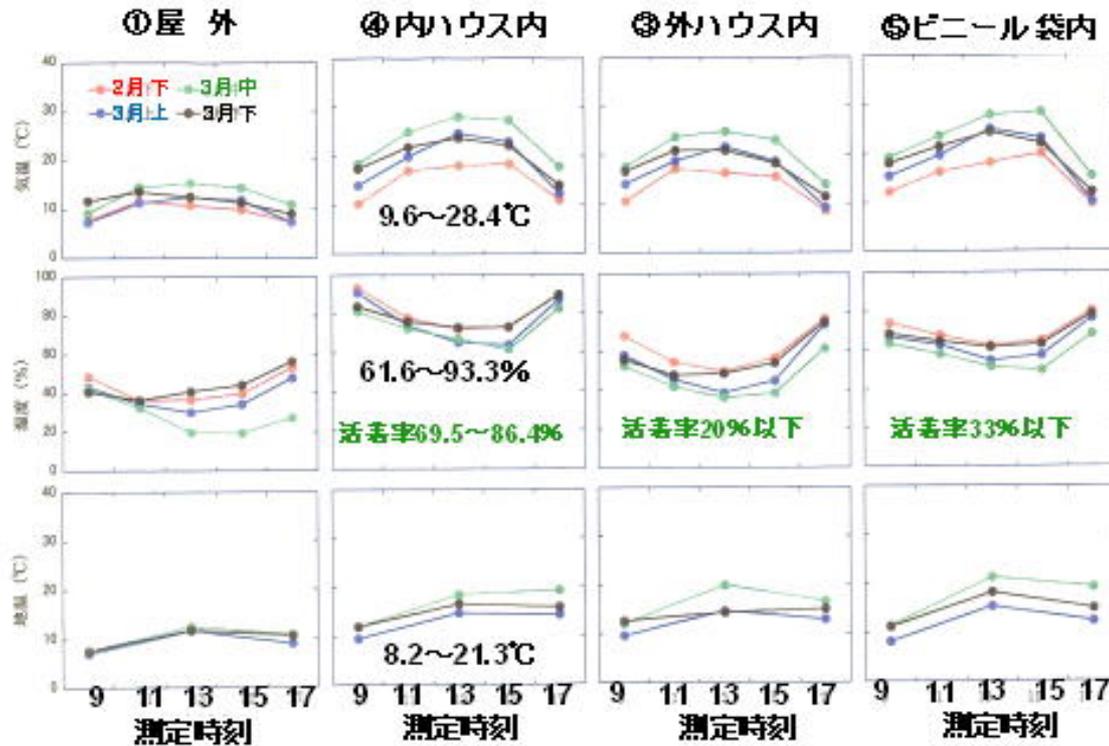


図-5 養生施設毎の気温・湿度・地温(2002年測定)

アカマツの光合成はおおよそ25 以上で徐々に低下することが知られている³³⁾。今回の結果から、気温や地温は内ハウス、外ハウス、部分保湿では養生苗に水ストレスを与える可能性は低く、通常のビニールハウスでは高いことが推測される。

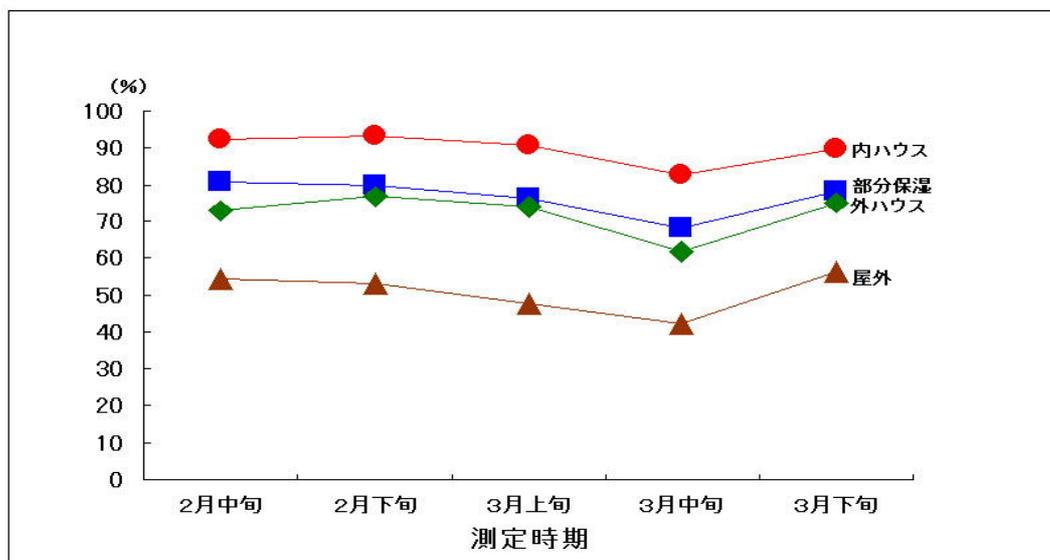


図 6 つぎ木施設内の旬別平均最高湿度

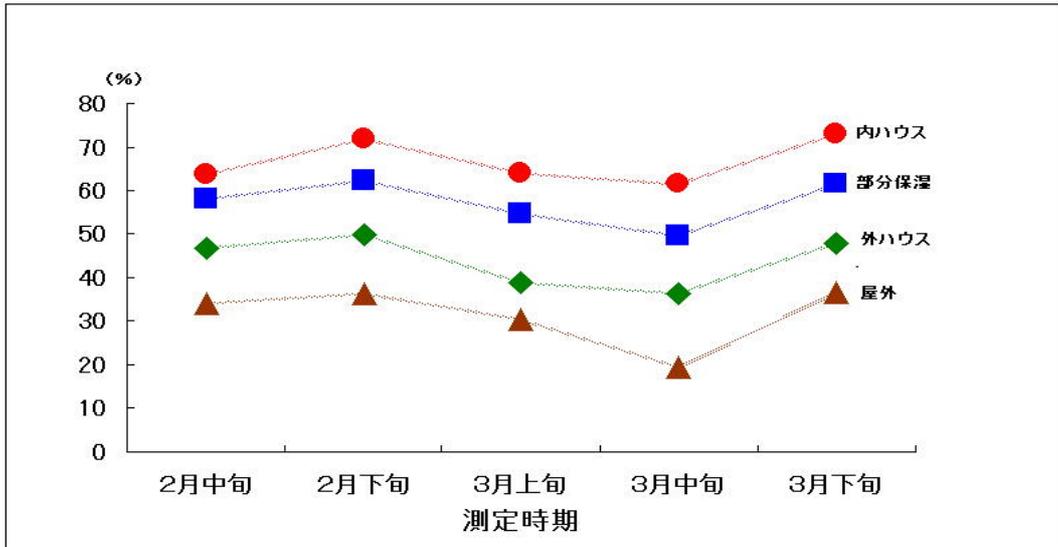


図 7 つぎ木施設内の旬別平均最低湿度

つぎ木試験を行った施設における雨天日のデータを除いた日の11～13時の最高、最低湿度の平均値を示した(図 - 6、7)。平均最高湿度は、内ハウスが最も高く82.6～93.3%、次が部分保湿で68.1～80.8%、次が外ハウスで61.6～76.7%であった。平均最低湿度は内ハウスが61.6～73.0%、次が部分保湿で49.3～62.2%、次が外ハウスで49.7～61.6%であった。統計的な検定は行っていないが、内ハウスは平均最高最低湿度とも高く、高湿度状態を保つのに適した施設であった。

一方、つぎ木の活着率は内ハウスが86.4%で最も高く、次が部分保湿で33.3%、外ハウスが20%で最も低かった。この各施設における活着率と湿度との間には正の相関が見られた(図 - 8)。

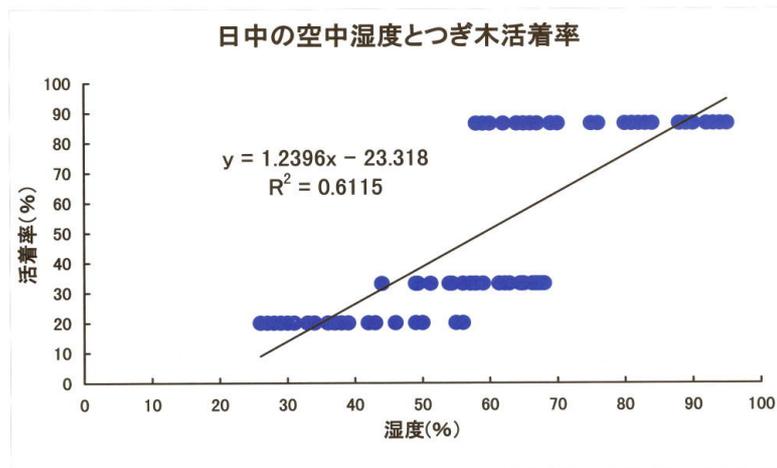


図 - 8 日中の空中湿度とつぎ木活着率との関係

このことは、高湿度ほど台木と穂木が癒合しやすく活着が良好であることを示している。

また、リンゴやカエデのカルスの形成は湿度が95%以上で良好であることが知られている³²⁾。さらに、林木育種センター九州育種場において、つぎ木養生期間中の湿度が60~94%の時の活着率がアカマツで74.4%、クロマツで83.7%であった³⁴⁾。これらの知見を踏まえ、養生施設の湿度はつぎ木の活着に大きな影響を及ぼしていることはあきらかである。

なお、事業的な面から投資したコストに見合う、いわゆる採算の合う活着率はマツの場合80%であるといわれている。これまでの経験を踏まえ、今回の結果とあわせて考えるとマツのつぎ木養生期間中の施設内の湿度は少なくとも80%以上に保つことが望ましいと考えられる。

(2) 改良つぎ木技術

台木の準備から候補木の選抜まで

つぎ木の台木に用いるクロマツ2年生の実生苗は必要な本数を10月下旬に県内の苗木生産者から購入し、つぎ木の養生施設に隣接した苗畑に仮植する。

マツノザイセンチュウ抵抗性候補木(以下「候補木」という)は11月下旬から12月中旬にかけて選抜し、翌年の1月下旬に穂木を採取する。この時、穂木の太さは台木の太さを超えない頂芽を有するものとし、採取後、穂長を約30cmに揃えて、ビニール紐で縛り、候補木の個体番号を記入したラベルを添付する。

候補木の穂木毎にビニール紐で縛りラベルを添付した穂木は、CTM苗木貯蔵箱に入れガムテープで密閉保存して持ち帰る。持ち帰った穂木は直ちにCTM苗木貯蔵箱のまま³¹⁾の冷蔵庫に保管する。

つぎ木作業

樹木の成長開始温度は一般的に5℃以上であるとされている³⁵⁾。したがって、本県ではマツのつぎ木作業は芽が休眠している2月上旬から中旬の10日間以内に終了するようにしている。また、この時期はマツの芽や根が休眠状態にあるため作業効率がいい「上げつぎ」を行っている。

台木はつぎ直前に苗畑から取り出し、つぎ直後は水を張ったポリバケツで保管し、できるだけ早く内ハウスに仮植して、つぎ木苗全体の乾燥防止に細心の注意を払っている。

つぎ木の養生

つぎ苗木は、外ハウス内の十分に耕耘した幅1.0mの仮植床に1列30本ずつ重ならないように並べて仮植している。仮植する列の間隔は概ね30cmである。十分な灌水後、内ハウスをビニールで覆い、4月末まで養生している(写真-2、3)。なお、灌水はこの後行わなくても問題ない。また、温度と湿度をできるだけ高く維持するため、内ハウスと外ハウス、外ハウスと屋外との換気は行わない。ただし、晴天の日は内ハウス内の温度が急激に上昇するため、外ハウスの裾を開いて換気を行い、内ハウス内の温度の急上昇を防止することが必要である。

このようにしてつぎ木を養生すると、活着した苗は芽が伸長するため目視で分かる。その後も引き続き十分に活着を促進させ、5月初めに内ハウスのビニールを取り外し、1ヵ月ほどかけて養生苗を外ハウスの環境に馴化させる。その後、外ハウスと屋外との換気を徐々に行って梅雨入りを目標として養生苗の外気馴化を図り、苗畑への移植の準備を進める。このようにして、気象情報を見ながら苗の乾燥防止を図り、確実に活着するように梅

雨入りの直前の無風曇天日に移植を行う。



写真 2 つぎ木苗の養生前の灌水
仮植床の土壌の理学性の改善



写真 3 つぎ木苗の養生

養生苗を苗畑へ移植した後、ハウスは6月から9月末頃まで一次検定で使用する。その後、直ちに外ハウス内を深さ20cm程度の土壌耕耘を行っている。そこに、広葉樹の落葉堆肥を1㎡当たり5?と粉炭を1㎡当たり1?を混入して土壌改良を行っている。このようにして、仮植床として2年間使用した後外ハウスのビニールを取り外し、仮植土を外気にさらして土壌の劣悪化防止を図っている。

4 おわりに

1987年度に開始した県単研究課題、「マツノザイセンチュウ病抵抗性育種に関する研究」では1991年度まで研究材料が確保できず、また、1992年度から国庫補助事業としてスタートした、東北地方等マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業では1996年度まで一次検定用の材料を必要本数確保するため、つぎ木の本数をできるだけ多くしていた(図-9)が、1997年度から5年間をかけてつぎ木技術を確認させたことから、近年は一次検定に供する対象母樹数(抵抗性候補木数)を増やして、効率的な選抜が行えるようになった。

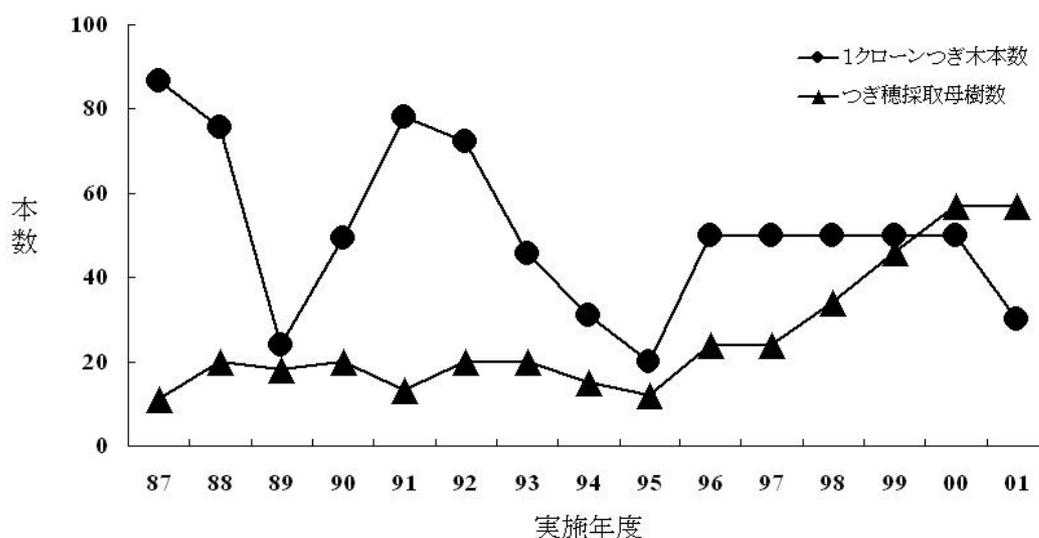


図-9 クローン当たりのつぎ木本数と採穂母樹数の推移

このように、研究や事業に関わりを持ってから16年目の2000年に福島県初のマツノザイセンチュウ抵抗性品種が確定した³⁶⁾ことを皮切りに、2005年には新たにアカマツ4個体、クロマツ2個体のマツノザイセンチュウ抵抗性品種が確定した³⁷⁾。

なお、本試験は渡邊次郎、斎藤寛、小澤創が担当し渡邊がとりまとめた。試験の一部を東北森林科学会大会³⁸⁾と林木の育種³⁹⁾に発表した。

マツの大量つぎ木技術の改良

1 はじめに

マツノザイセンチュウ抵抗性候補木の抵抗性を検定するためには、つぎ木でクローン苗を増殖することが最も適している³⁴⁾ことから、マツのつぎ木増殖法は多くの研究機関において用いられている。ところが、マツのつぎ木は活着率が不安定で、目標とするつぎ木本数を確保するのが困難な場合が少なくない。以前は、当センターにおいてもマツのつぎ木の活着率が極めて低く、長い間つぎ木増殖に苦労してきた。しかしながら、当センターではマツのつぎ木の活着率に大きく関わる因子が、つぎ木を仮植して養生する間における空中湿度である^{27,28)}ことが分かってから、マツのつぎ木活着率を大幅に向上させることに成功した。しかし、このつぎ木方法には改良を要する次のような課題が生じた(図-10)。

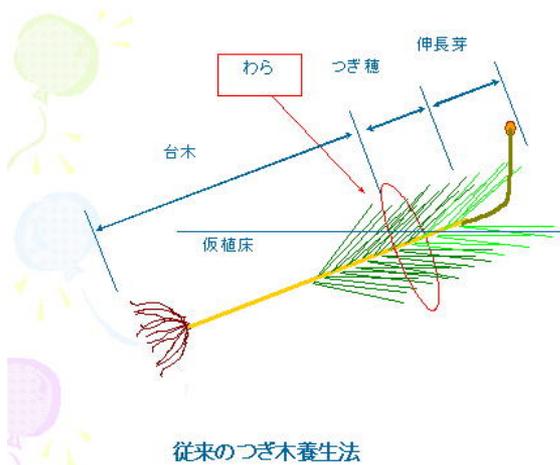


図-10 従来をつぎ木養生法

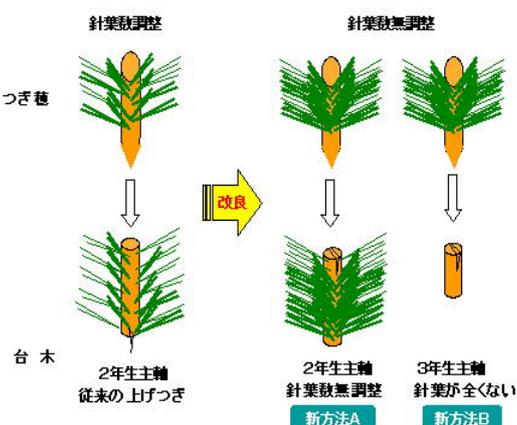


図-11 新たなつぎ木法

- ア つぎ木に用いるつぎ穂を作る際、つぎ穂の針葉数(以下葉束)を8~10本に調整するため、つぎ穂作りに時間がかかる。
- イ 台木とつぎ穂のつぎ部の結束技術に個人差があるため、つぎ木の活着率に影響を及ぼす。
- ウ つぎ木活着後、つぎ穂の芽が台木の主軸に対して著しく湾曲して伸長する。
- エ 養生床に繁茂した雑草の影響により、つぎ穂のつぎ部が腐ることがある。
- オ つぎ木の活着を確認した後に苗木を苗畑に移植するため、湾曲して伸長した芽や台木の根を傷めやすい。
- カ 苗畑における苗木養生時に台木から新たな枝が多数発生する。

そこで、これらの課題を解決するため、つぎ木や仮植、さらに養生の方法を変えた試験を実施し、それらの違いがつぎ木の活着に及ぼす影響について調査した。

2 試験の内容

(1) 仮植床

当センターでは、つぎ木を仮植して養生する仮植床の理学的改善を図ることを目的として、2年に一度ビニールハウスを取り外し、つぎ木作業に先立ち仮植床の土壤改良を行っている。今回は、2003年10月中旬、仮植床に1㎡当たり粉炭1?とパーライト(5mm以下)2?を均一に散布した後、小型の耕耘機を用いて深さ20cm程耕耘して混入した。

(2) つぎ木の方法

前述の1のア~カを解決するため、表-5と図-11に示した方法で試験を行った。

1のアに対する方法として、台木とつぎ穂の葉束を調整しない(A、B、C、D、Eの各区)。

1のイに対する方法として、ワラを用いずに林木育種センター九州育種場が試験を行った事務用目玉クリップ³¹⁾(以下「目玉クリップ」という)を用いる(D区、E区)。

1のウに対応する方法として、苗木を伏せずに立てて仮植して養生する際のつぎ木苗の仮植床からの角度を、従来の15°から70°や90°に変える(B、C、D、Eの各区)。

1のエに対応する方法として、つぎ部を仮植床から高くして養生する(B、C、D、Eの各区)。

1のオに対応する方法として、台木をポットで養成した苗木(以下「ポット苗」という)を用いる(C、D区)。

1のカに対応する方法として、台木の低い位置(今回は3年生軸)でつぎ木する(E区)。

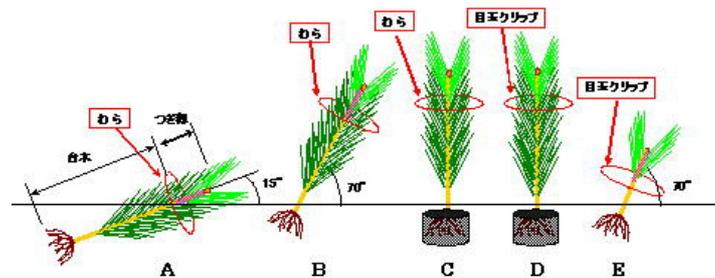


図-12 つぎ木の養生方法の検討

つぎ木の方法は「上げつぎ」による「割つぎ」で行った^{27,28)}。穂木はつぎ木を行う度に冷蔵庫から運び出した。穂木から作ったつぎ穂は頂芽基部から長さ4cm、そのうち台木にさし込む部分を楔形に長さ1.5cm削った。A区は2年生軸に2,375本(母樹個体数95本)のつぎ木を行った。B区は2年生軸に1,125本(母樹個体数45本)のつぎ木を行った。C区は37本(母樹個体数2本)、D区は23本(母樹個体数2本)、E区は50本(母樹個体数2本)つぎ木を行った。

つぎ終えた苗木は、仮植床に掘った幅0.3m、深さ0.2m、長さ1mの植溝に仮植床面か

ら仰角約15、70、90°に植溝1本当たり25本を基準として、横一列に並べて仮上した。その後十分に灌水し、内ハウス^{27,28)}のビニールを被せて仮植苗を養生した。

(3) 穂木と台木

つぎ木試験に用いた穂木と台木は表-5に示したとおりである。つぎ木用の穂木は、本県のいわき市と相馬郡小高町(現在は南相馬市小高区)にある 齢級の海岸林のクロマツ個体から採種した。台木に用いたクロマツ3年生の実生苗とポット苗は、前年の2003年10月下旬に、県内の苗木生産業者から購入した2年生の実生苗とポット苗を、つぎ木養生施設に隣接した苗畑に仮植しておいて用いた。台木はA、B、E区には実生苗を、また、C、D区にはポット苗を用いた。

穂木の採取は、一回目が2004年1月下旬にいわき市のクロマツ95個体から、二回目が2004年2月中旬に相馬郡小高町のクロマツ45個体からそれぞれ行った。また、一回目、二回目共に採取した穂木は前報^{27,28)}と同様にCTM苗木貯蔵箱に保存して持ち帰り、直ちに貯蔵箱のまま0³¹⁾の冷蔵庫に保存した。

処理区A、B区では穂木を採取した全140個体(25本/1個体)からのつぎ木を行った。C、D、E区は個体数の多いA区とB区から無作為に抽出した3個体からの穂木をつぎ木に使用し、A区とB区に使用した個体の穂木と同じ個体の穂木を用いて、仮植や養生の違いの影響が把握できるように留意した。

表-5 材料と実施時期

穂木の母樹齢	クロマツ 齢級
台木の苗齢	3年生
穂木の長さ	4cm
穂木の削り方	さし込む方(基部という)を楔形に1.5cm削る
つぎ木の方法	「上げつぎ」による「割つぎ」とする
各処理区毎のつぎ部の年次とつぎ木本数	
A区: 2年生主軸	2,375本(母樹個体数95本)
B区: 2年生主軸	1,125本(母樹個体数45本)
C区: 2年生主軸	37本(母樹個体数2本)
D区: 2年生主軸	23本(母樹個体数2本)
E区: 3年生主軸	50本(母樹個体数2本)
母樹1個体当たりからのつぎ木本数は、25本を基準とした。	
ただし、C区は本数の関係で20本と17本に、またD区は12本と11本に分けた。	
C~E区は、A区とB区から無作為に抽出した6個体をつぎ木に用いた。	
穂木の採取とつぎ木の時期	
第1回目の穂木採取は、2004年1月下旬で、つぎ木は2004年2月上旬	
第2回目の穂木採取は、2004年2月中旬で、つぎ木は2004年2月下旬	

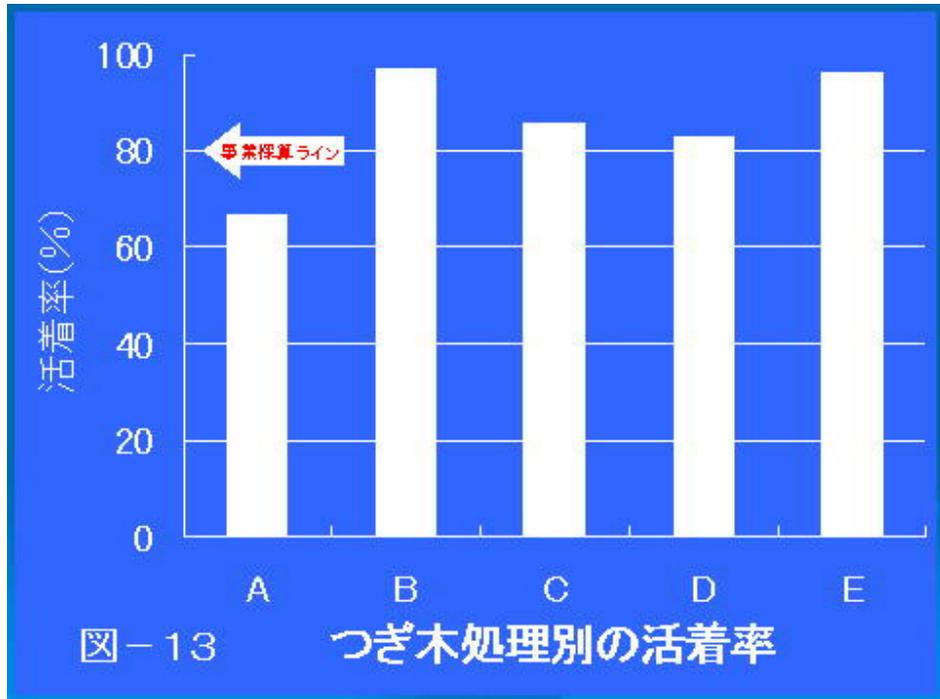
(4) 馴化と畑への移植

仮植と養生用の内ハウスは2004年4月30日に取り外し、畑に移植するための環境馴化期間として2004年5月18日まで外ハウスの中に置いた。その後2004年5月19日に、外ハウス内のつぎ木苗を全て畑に移植した。この時に活着率を調査した。

3 結果と考察

各処理区毎の活着率を図-13に示した。B区は97.3%、E区は96.0%、C区は86.4%、D区は82.6%と、従来の覆土法(A区66.5%)によらないで仮植および養生したものは、何れも80%以上の活着率を示した。今回、新たな仮植と養生方法を試験して、つぎ部を仮

植床から高くして仮植と養生をしたB区と、葉束（針葉）のない台木の低い位置でつぎ木したE区は、台木にポット苗を用いていないこともあり、つぎ穂の萎凋による活着率の低下を心配したが、結果は良好であった（写真 - 4、写真 - 5）。このことから、マツのつぎ木は高湿度条件下であれば、B区やE区のような処理方法であっても、つぎ木が可能であることが分かった。



林木育種センター九州育種場³⁴⁾では、D区やE区のようにつぎ部の結束に目玉クリップを用いた場合、つぎ木活着率がビニールテープに比べて5%向上し、1,000本当たりの労力も13%工程アップし、「芽かき作業」についても通常の方法に比べて2.5倍以上作業効率が上がったと報告している。目玉クリップによるつぎ部の結束は、今後導入を検討する価値があると言える。ただし、E区については台木に葉束が全くないことから、つぎ穂の伸長にどのような影響があるか全く不明である。そのため、今後も引き続き調査を行っていくことが必要である。仮植と養生にB～E区の方法を採用することによって、つぎ木の



写真 4 B区の活着状況

写真 5 E区の活着状況

活着率は、事業的に採算の合う80%以上に維持することが可能になると考えられる。ただし、C区やD区のように台木にポット苗を用いる場合には、台木の価格の検討が必要になると思われる。台木に用いるポット苗の価格の問題は残るにしても、今回のつぎ木におけるつぎ方と養生方法に関する一連の試験から、次のことを行っても活着率に影響がないことが判明した。

つぎ穂と台木の葉束の調整は不要。

つぎ部の固定をつぎ木テープやワラに換えて目玉クリップを用いる。

つぎ木苗の仮植床における養生角度を70～90°にする。

つぎ部を仮植床面から高くして養生する。

葉束が全くない台木の主軸につぎ木する。

また、苗畑管理に要する労力は、つぎ木方法によっては、台木に発生する枝数が減ることから、枝切りの回数が減ることにより軽減されると思われる。

以上、今回の試験により、次の点で大きな成果を得た。

つぎ木作業の効率向上。

つぎ木の方法によっては、つぎ木苗の苗畑への移植が容易になる。

つぎ木苗の苗畑への移植後の養生管理の省力化。

これらを踏まえて当センターでは、これまで行ってきたマツの大量つぎ木技術をさらに改良することを検討している。

なお、本試験は渡邊次郎と小澤創が担当し渡邊がとりまとめた。試験の一部を東北森林科学会大会³⁹⁾に発表した。

マツ穂木の保存方法とその期間がつぎ木の活着に及ぼす影響

1 はじめに

当センターでは、1987年度以降アカマツのマツノザイセンチュウ抵抗性候補木(以下「抵抗性候補木」という。)の選抜を、被害の大きな太平洋側の浜通り地方のみで実施してきた。しかし、遺伝的多様性に優れた抵抗性アカマツの種苗を作出するためには、県内全域から抵抗性アカマツを選抜して苗木を育成し、採種園を造成することが望ましい。

このためには、中通り地方と会津地方においてもアカマツの選抜を行うことが必要であるが、この2地方はつぎ木に用いる穂木の採取時期が積雪期となることから、作業に支障をきたしている。このため、積雪が多い地域のアカマツから穂木を採取してつぎ木を行うためには、積雪前に穂木を採取する必要があるが、現行のつぎ木時期につぎ木する場合穂木の保存期間が問題となる。

すなわち、当センターが確立した方法^{27,28)}と比較すると、つぎ木までの穂木の保存期間が長期化することは避けられないことから、穂木の保存期間がつぎ木の活着率に及ぼす影響を把握することが必要である。このため、会津地方で選抜したアカマツ候補木から採取した穂木を用いて、アカマツの穂木の保存方法とその期間がつぎ木の活着率に及ぼす影響について調査した。

2 試験の内容

材料は、耶麻郡塩川町(現在は喜多方市塩川町)で選抜した約80年生のアカマツ2個体と約40年生のアカマツ3個体から、それぞれ1枝当たり60芽を確保できるように穂木を採

取して試験に用いた。約80年生の当年枝の太さは約2mm、約40年生の当年枝の太さは約3.5mmであった。初回から3回目までは当年伸長枝の穂木を採取し、また、4回目は年越しとなったため前年伸長枝を採取した。台木は、2003年10月に県内の造園業者から購入して当センターの苗畑に仮植しておいた購入時2年生のクロマツ実生苗を用いた。試験材料を表-6に示した。

表 - 6

処理(樹齡) 記号	保存方法	穂木長 (cm)	穂木径 (mm)	保存期間と1母樹からのつぎ木本数			
				25(日)	80(日)	100(日)	132(日)
A(80)	A処理	30	2	20(本)	15(本)	20(本)	20(本)
A(40)	A処理	30	3.5	20	15	20	15
B(80)	B処理	10	2		15	15	15
B(40)	B処理	10	3.5		15	15	15
C(80)	C処理	30	2		15	15	15
C(40)	C処理	30	3.5		15	15	15

アカマツの穂木(以下「穂木」という)の採取日は、つぎ木時期と穂木の保存期間から逆算して決定した。その結果、穂木の保存期間が132日間と最も長くなるものを2004年11月5日に採取した。次に穂木の保存期間が100日間となるものを12月7日、穂木の保存期間が80日間となるものを12月28日、そして穂木の保存期間が最も短い25日間になるものを翌年の2005年2月21日に採取した。



写真 6 穂木の保存方法(4枚組写真)

穂木は、採取の度に長さ30cmに切り揃え、ビニール紐で結束した後直ちにCTM苗木貯蔵箱に入れて持ち帰り、従来と同じ方法で穂木を結束しただけのもの（A処理）、穂木をビニール袋に入れた湿らせた広葉樹のおが屑の中に入れたもの（B処理）、穂木をビニール袋に入れた湿らせた水苔の中に入れたもの（C処理）と、それぞれ3種類の保存条件毎に処置した後、再度CTM苗木貯蔵箱に入れ、ガムテープで密閉して0～3℃に温度調整した冷蔵庫に保存した。なお、穂木の保存期間が最も短い25日間のものはA処理のみとした。

その後、2005年3月17、18日にCTM苗木貯蔵箱を冷蔵庫から搬出して穂木を取り出し、穂木の元口をつぎ木用ナイフでカットして切り口面を目視により変色や腐朽の有無を調査した。その結果は図-14に示したとおりである。全ての処理区と保存区において腐朽は全く認められなかったが、穂木の切り口に変色が認められた。A処理で25日間保存した母樹齢（以下「穂木の母樹齢」を省略する。）が80年生と40年生の穂木は共に変色が認められなかったが、80日間保存した80年生の穂木は、平均（以下「平均」は省略）で37.9%、40年生穂木は15.2%変色が認められた。100日間保存した80年生の穂木は39.4%、40年生穂木は18.2%認められた。132日間保存した80年生の穂木は48.45%、40年生の穂木は18.2%であった。

B処理で80日間保存した80年生の穂木は54.7%、40年生の穂木は24.5±3.86%認められた。100日間保存した80年生の穂木は51.5%、40年生の穂木は36.4±5.77%認められた。132日間保存した80年生の穂木は51.75%、40年生の穂木は46.63±6.65%であった。

C処理で80日間保存した80年生の穂木は40%、40年生の穂木は22.23±3.86%認められた。100日間保存した80年生の穂木は53.35%、40年生の穂木は24.47±3.86%認められた。132日間保存した80年生の穂木は57.4%、40年生の穂木は平均33.3±6.65%であった。

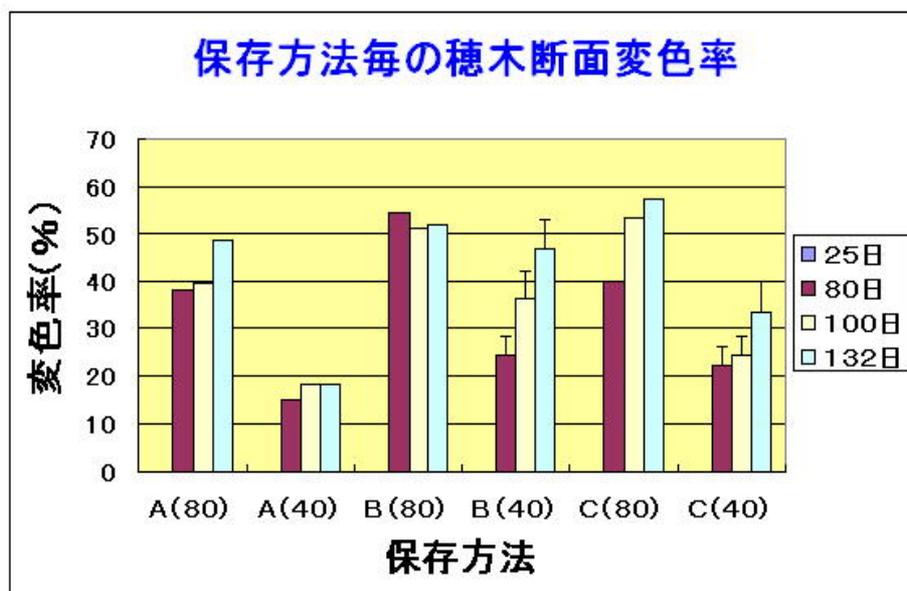


図 - 14 保存方法別穂木切断面の変色割合

切り口面に腐れや変色等が見られない正常な穂木のみを用いて、1クローン当たり15～

20本つぎ木した。つぎ穂の針葉を調整しない方法³⁹⁾による「割つぎ法」により台木の2年生主軸につぎ、つぎ穂と台木の接合部を目玉クリップで挟んで固定した。その後二重ハウスの内ハウスに仮植して十分に灌水した後養生した^{27,28)}。

3 結果及び考察

(1) 保存方法と保存期間毎のつぎ木活着率

A処理で25日間保存した80年生の穂木の平均活着率（以下「平均」は省略）は77.5%、40年生の穂木の活着率は $81.7 \pm 5.8\%$ であった。80日間保存した80年生の穂木の活着率は36.7%、40年生の穂木の活着率は60%であった。100日間保存した80年生の穂木の活着率は12.5%、40年生の穂木の活着率は $56.7 \pm 5.8\%$ であった。132日間保存した80年生の穂木の活着率は5%、40年生の穂木の活着率は $16.7 \pm 2.9\%$ であった。

B処理で80日間保存した80年生の穂木の活着率は26.7%、40年生の穂木の活着率は $60 \pm 6.7\%$ であった。100日間保存した80年生の穂木の活着率は23.4%、40年生の穂木の活着率は $53.3 \pm 6.6\%$ であった。132日間保存した80年生の穂木の活着率は16.7%、40年生の穂木の活着率は $44.5 \pm 3.9\%$ であった。

C処理で80日間保存した80年生の穂木の活着率は46.7%、40年生の穂木の活着率は $68.4 \pm 13.7\%$ であった。100日間保存した80年生の穂木の活着率は30%、40年生の穂木の活着率は $65.8 \pm 10.0\%$ であった。132日間保存した80年生の穂木の活着率は16.7%、40年生の穂木の活着率は $51.3 \pm 7.7\%$ であった。

以上から、80年生（径が約2mm）の穂木や40年生（径が約3.5mm）の穂木は、採取後25日以内につぎ木すれば約80%活着するが、それ以降は急激に活着率が低下することが分かった。また、80年生の穂木は、保湿対策を講じても長期間健全な状態で保存することは難しいことが分かった。

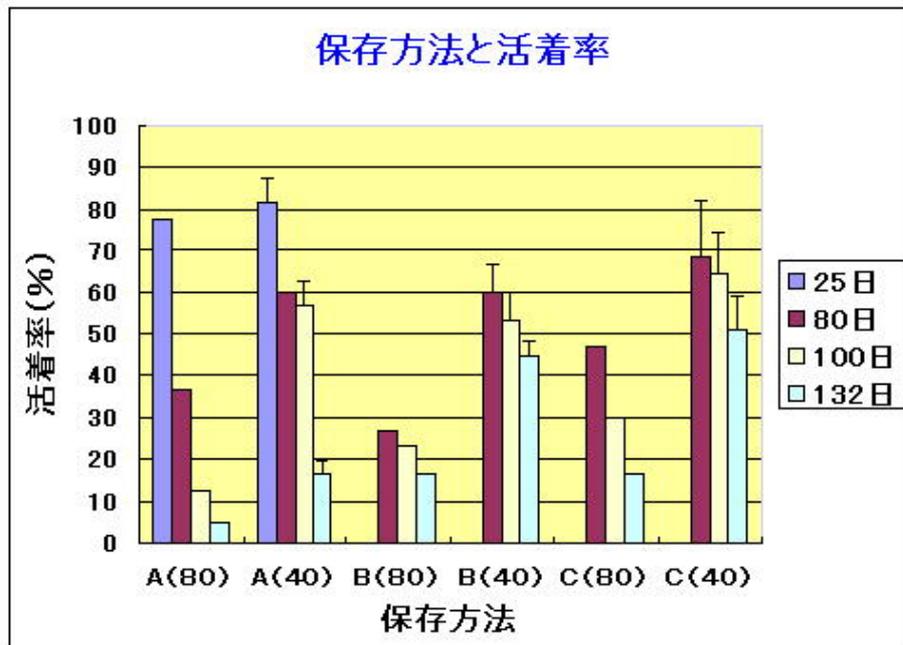


図 - 15 穂木の保存方法と活着率



写真 7 活着状況

(40年生母樹からのつぎ穂は活着率が高かった)

写真 8

(80年生母樹からのつぎ穂は活着率が低かった)



写真 9 活着状況写真

(保存期間が最も短い穂木を用いたつぎ木苗は針葉の色が良好である)

写真 10 掘り起こしたつぎ木苗

(活着したつぎ木苗を畑に移植する)

(2) B処理のおが屑の含水率

各処理毎に保存した穂木を冷蔵庫から取り出し、保存期間が最も長い132日間のB処理の袋内のおが屑を上半分(以下「上層部」という)と下半分(以下「下層部」という)に2等分し、80年生の穂木を保存した袋と40年生の穂木を保存した袋から無作為に3袋を抽出して、それぞれの含水率を測定した。

おが屑の含水率は次により求め平均した。

$$\text{含水率 (\%)} = 100 - \text{おが屑の絶乾重量} \div \text{おが屑が水分を含んだ重量} \times 100$$

その結果、80年生の穂木を保存した袋の上層部のおが屑の含水率は58.43%、下層部のおが屑の含水率は69.48%であった。また、40年生の穂木を保存した袋の上層部のおが屑の含水率は $58.12 \pm 0.23\%$ 、下層部のおが屑の含水率は $69.39 \pm 1.34\%$ であった。この結果から明らかなように、80年生の穂木を保存した袋の下層部のおが屑と、40年生の穂木を保存した袋の下層部のおが屑は、どちらも上層部の含水率と比べて約11%高い値を示した。このことは、B処理で保存した穂木の切り口が変色したものは全て保存袋の下部に保存し

たものであったことから、穂木の切り口の変色の原因がおが屑の含水率であった可能性が極めて高いと考えられる。したがって、B処理で穂木を保存する場合、おが屑の含水率はほぼ58%以下が望ましく、今後はおが屑の含水率を適正に調整する技術の向上が必要であると考えている。

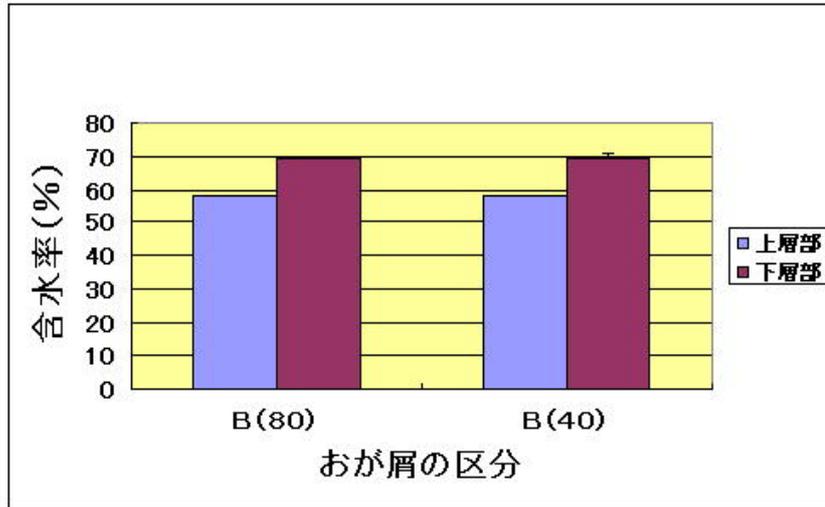


図 16 広葉樹おが屑の含水率

ただし、40年生の穂木はおが屑や水苔の含水率を58%以下に調整できれば、穂木の保存期間が132日間であっても、アカマツのつぎ木活着率が50%以上の可能性が期待できることから、今後さらに穂木の保存方法の検討が必要である。この方法が上手くいけば、目標としている「積雪前の12月上旬に穂木を採取・保存し、従来の最も適したつぎ木時期である2月上旬のつぎ木」が可能になるが、この方法が不可能である場合は1月上旬のつぎ木となる。時期的に養生施設の温床等が必要になることから、養生施設の改良と経費等の新たな問題が生じ、大幅な改善対策を講じる必要が生じる。

したがって、今後さらに樹齢の異なるアカマツ個体からの穂木を用いて保存方法を変えたつぎ木試験を行ってデータを蓄積し、会津地方からのアカマツのつぎ木が確実に行えるように技術を確立させることが必要である。

なお、本試験は渡邊次郎、小澤創が担当し渡邊がとりまとめた。試験の一部は東北森林科学会大会⁴⁴⁾に発表した。

クロマツ 齢級母樹からの穂木を用いたさし木試験

1 はじめに

マツ母樹の形質を確実に受け継ぐことができる増殖方法の一つにさし木がある。近年、さし木が天然記念物やマツノザイセンチュウ抵抗性マツのクローン苗木をつくる技術として注目され、幾つかの研究機関において熱心に取り組まれている。既に2～3年生母樹からのさし木が容易であることや、加齢に伴い発根率が低下することが分かっている⁴¹⁾。これまで発根が確認されている最高樹齢はアカマツ30年生で、渡辺ら⁴¹⁾による報告がある。当センターでは、齢級のクロマツ母樹から採取した穂木に工夫を加えて試験を行った結果、初めて発根が認められた。

2 試験内容

材料は、図 - 17に示したように 齢級クロマツの穂木をつぎ木して得られる前年伸長枝。 齢級クロマツの前年栄養枝。 3年生クロマツ実生苗の主軸を切断して発生させた萌芽枝の3種類を用いた。 は2001年1月30日いわき市において、 齢級のクロマツ15個体から穂木を採取してつぎ木し、当センターの苗畑に2003年2月25日まで育成したつぎ木苗の前年伸長部をさし穂に用いた。 は対照用として、2003年1月20日に相馬郡小高町（現在の南相馬市小高区）において 齢級7個体から採取した穂木を、CTM苗木貯蔵箱に保存して持ち帰り、持ち帰った穂木は、貯蔵箱のまま当センターの0の冷蔵庫に保管しておいて用いた。 の若齢のクロマツのさし穂は、実生苗の主軸を切断して発生させた萌芽枝を用いた。萌芽枝の発根はかなり発根しやすいことが報告されている⁴²⁾ことから、本試験においては、検証と合わせて 齢級母樹からのさし木の対照として行った。

この萌芽枝を採取するための苗木は、1999年4月上旬に当センター内の苗畑に播種し成育させた。3年後の2002年5月中旬に苗木の主軸を切断して萌芽を発生させた。

さし穂の条件（クロマツ）

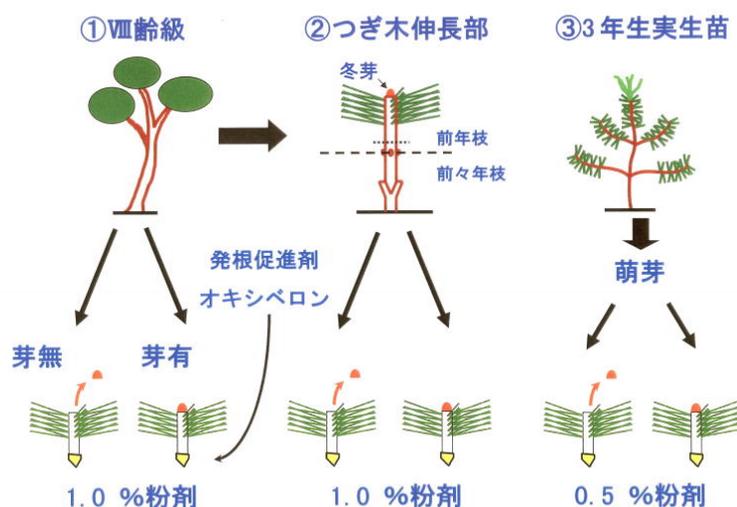


図 - 17 さし木に用いたさし穂

試験設計は表 - 7のとおりである。さし穂は、2003年2月25日に用意した。 齢級母樹からのつぎ木苗は前年伸長部の頂芽直下から、また、対照用のさし穂は頂芽直下からそれぞれ約3cmの長さに採取した。3年生実生苗からの萌芽のさし穂は、 齢級母樹からのさし穂と同様に頂芽直下から約3cmの長さに採取した。さし穂数は1処理30~33本とし、針葉数を調整せず、切り口に切り返しを付け、直ちに格子状のプラスチック容器に入れ、流量を調節した水道水に24時間浸漬してヤニ抜きをした。さし穂は、冬芽の有無が発根に及ぼす影響があるとの報告もあることから⁴³⁾、冬芽を付けたものと冬芽を取り去ったものの2種類とした。発根促進剤はインドール酪酸粉剤1%を用いた。さし穂をさし付ける床は、中粒鹿沼土のみ(A区)、中粒鹿沼土と粒状パーライトの混合区(容積比で1:1、B区)、中粒鹿沼土とパーミキュライトの混合区(容積比で1:1、C区)の3種類とした。これ

を中が3区分してある縦185cm×横95cm×深さ20cmの木製の箱の中に入れ、さし床とした。

表 7

試験設計											
記号	床土			さし穂			芽		収斂木量		
	K	K+P	K+B	穂数	つぎ穂	3年生	有	無	温床マット		
									有	無	
A	1	●			●		●		32	19	
	2	●			●		●	●	32	19	
	3	●			●		●		33	19	
	4	●			●		●	●	33	19	
	5	●			●		●	●	33	33	
	6	●			●		●	●	33	33	
B	1		●		●		●		33	19	
	2		●		●		●	●	33	19	
	3		●		●		●		33	19	
	4		●		●		●	●	33	19	
	5		●		●		●	●	33	33	
	6		●		●		●	●	33	33	
C	1			●	●		●		33	19	
	2			●	●		●	●	31	19	
	3			●	●		●		33	19	
	4			●	●		●	●	33	19	
	5			●	●		●	●	33	33	
	6			●	●		●	●	33	33	
K；鹿沼土（中粒） P；パーライト B；パーミキュライト K+P、K+Bとも容積比=1：1											
その他の条件											
温床マットの温度				：25℃		石川（1983）					
養生期間				：125日間		渡辺（1988）					

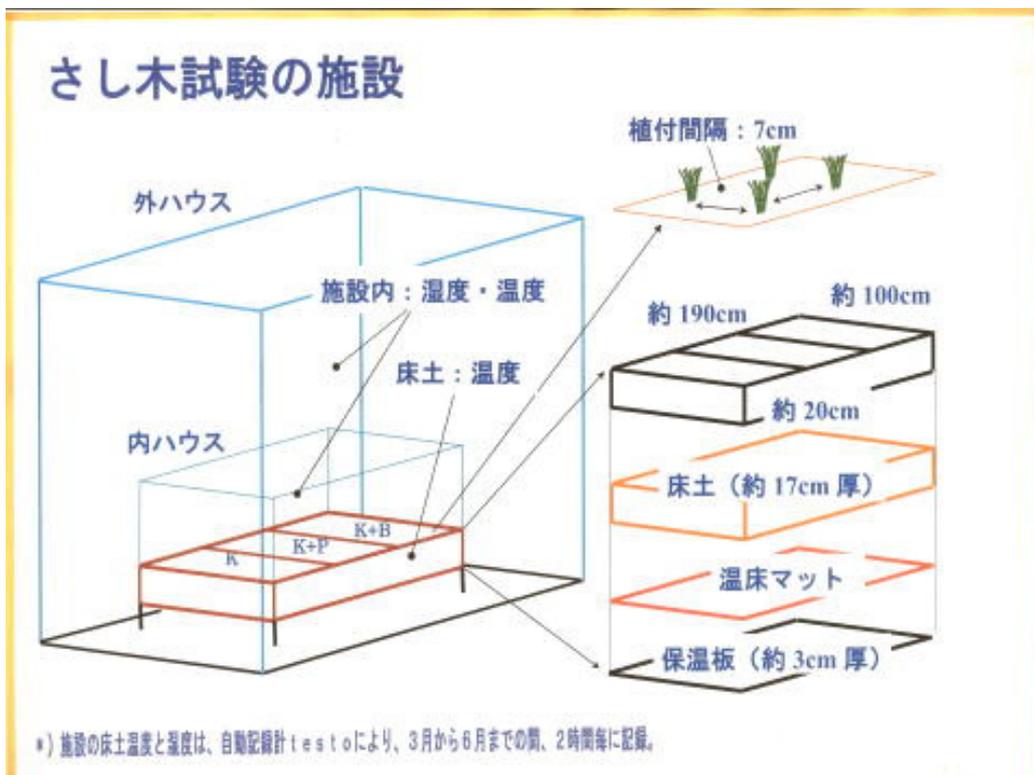


図 18 さし木試験に用いた施設

また、さし木の発根に及ぼす温床の影響を検証するため、さし床は温床使用と使用無し

の2種類とした。温床使用のさし付け床はガラス温室の屋根の内側に白冷紗を張り、その中に保湿するための小さなビニールハウス^{27,28)}をつくりその中に設置した。さらに、さし付け後の養生期間中のさし床の地温を25⁴⁴⁾に維持するため、電子サーモ(調節範囲0~50、動作温度幅1.5)付きの園芸マットを床土の下に敷いた。また、温床効果を上げるため、園芸マットの下には厚さ30mmのポリスチレン製の保温板を敷いた(図-17)。さし穂をさし付けた後十分に灌水し、さし付け箱をビニールシートで覆い密閉に近い状態にした。灌水は7日間に一度十分に行った。養生期間は125日間とした⁴¹⁾。

3 結果と考察

2003年7月2日に苗木を掘り取って発根の有無やカルス形成状態、腐れなどを調査した。その結果、母樹齢が 齢級からの穂木を一度つぎ木して、伸長した主軸や枝の前年枝を温床を使用してさし付けたものは、頂芽を付けたままさし付けたもの、頂芽を取り除いてさし付けたもの、ともに発根が認められた(写真-11、12)。



写真-11 齢級母樹からの穂をつぎ木して伸長した穂をさし木した



写真-12 齢級母樹からの穂をつぎ木して伸長した穂をさし木した

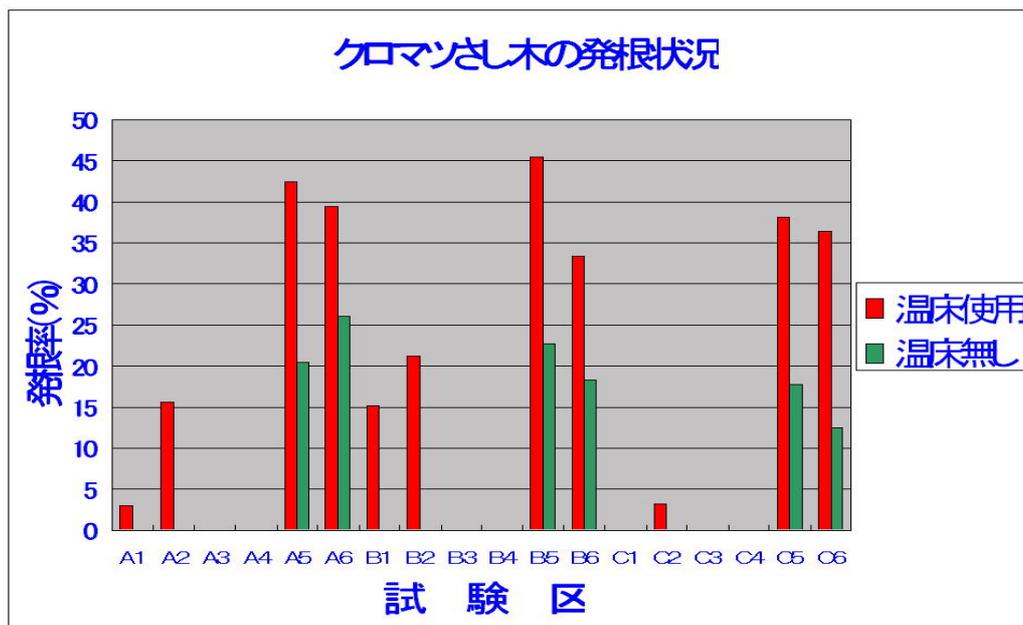


図-19 クロマツのさし木の発根状況

頂芽を付けたままさし付けた場合のA区の発根率が3.1%、B区が15.1%、C区が0であった。反対に頂芽を取り除いてさし付けた場合の発根率はA区が15.6%、B区が21.2%、C区が3.2%であった。しかし、温床を用いなかった対照区ではさし床の条件に関係なく何れの区も発根は全く認められなかった。また、 齢級母樹からの穂木をそのまま直接さし付けたものは、温床使用の有無に関わらず全く発根が認められなかった(図-19)。

3年生母樹からの萌芽枝を用いたさし木(写真-13、14)は、温床を使用し頂芽を付けたままさし付けた場合の発根率はA5区が42.4%、B5区が45.5%、C5区が38.2%であった。同じ条件の下で頂芽を取り除いてさし付けた場合の発根率はA6区が39.4%、B6区が33.3%、C6区が36.4%であった。温床を使用しないで頂芽を付けたままさし付けた場合の発根率はA5区が20.5%、B5区が22.8%、C5区が17.8%であった。同じ条件の下で頂芽を取り除いてさし付けた場合の発根率はA6区が26.1%、B6区が18.3%、C6区が12.5%で、温床を使用しないでさし付けた場合の発根率は、温床を使用した場合に比べて低い値を示しました。このことから、マツのさし木は温床の使用は必要であるといえる(図-19)。



写真-13 3年生実生苗萌芽からの発根
(頂芽を付けたさし穂)



写真-14 3年生実生苗萌芽からの発根
(頂芽を除去したさし穂)

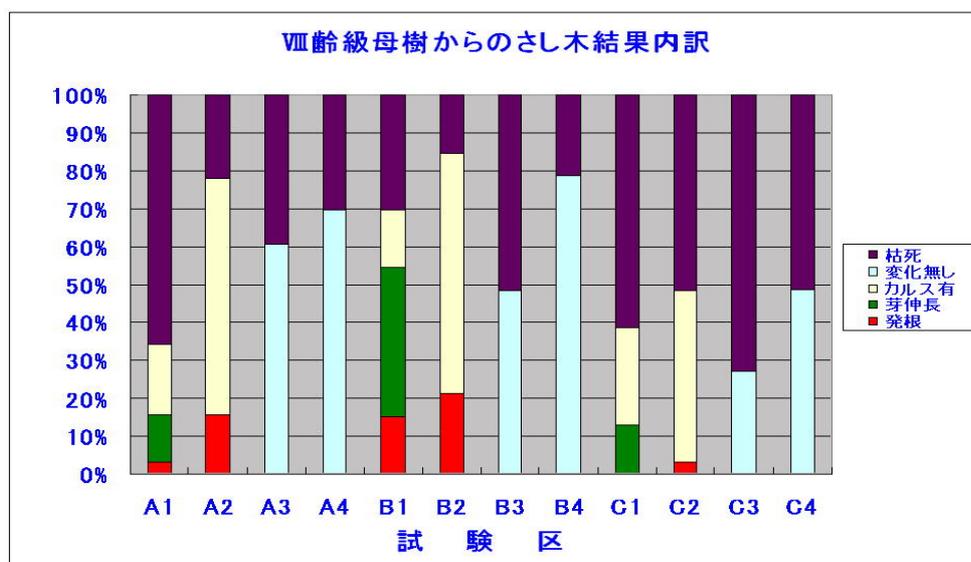


図-20 Ⅷ齢級母樹からのさし木結果の内訳

このように、3年生萌芽枝をさし木した場合の発根は特に問題はなかったが、年齢からの穂木をつぎ木して、伸長した主軸や枝の前年枝を用いたさし木の発根率が低かったので、これを向上させることが今後の課題である。年齢の母樹からのさし木の結果を図-20に示した。この図からも明らかのようにA1～A4まで全ての試験区に枯死したものはなく、カルスを形成していたものが多くみられたことから、工夫次第では今後発根率を向上させることができる可能性があると考えられる。

4 おわりに

今回の試験を行って、発根が難しいといわれている母樹齡が30年生を超えるさし木も、穂木を一度つぎ木して伸長した穂木をさし木することで発根率は低いが発根が認められたことから、さし木に用いる穂木の若返りを図ることで発根が促進されることが考えられた。

この試験は渡邊次郎、小澤創が担当し渡邊がとりまとめた。試験の一部は東北森林科学会大会⁴⁰⁾に発表した。

謝辞

の「着花特性と分子マーカー情報で明らかになった、マツノザイセンチュウ抵抗性アカマツ暫定採種園の問題点」の研究の実施ととりまとめにあたって、独立行政法人林木育種センター（以下「林木育種センター」という。）の近藤遺伝資源部長には貴重な御助言をいただいた。また、育種工学課の方々には分析に関して多大なる御協力をいただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

の「マツの大量つぎ木技術の確立」の試験実施にあたっては、林木育種センター東北育種場や新潟県、株式会社アラセキから多くの情報を提供していただいた。ここに厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 独立行政法人林木育種センター：林木育種センターパンフレット，(2005)。
- 2) 独立行政法人林木育種センター東北育種場：平成17年度林木育種推進東北地区協議会資料，(2005)。
- 3) 遠藤良太，小倉 満：林木の育種「特別号」，p . 4 - 6 (2005)。
- 4) 寺田貴美雄：東北森林科学会誌 1，p . 69 - 70 (1996)。
- 5) 寺田貴美雄：林木育種センター東北育種場年報 29，p . 39 - 43 (1999)。
- 6) El-Kassaby Y. A., Rudin D. and Yazdani R. : Scandinavian J. For. Res. 4，p . 41 - 49 (1989)。
- 7) 勝田 柁：林木の育種 124，p . 13 - 18 (1982)。
- 8) 川内博文，後藤 晋：日本林学会会誌Vol.81，p . 338 - 340 (1999)。
- 9) 森口喜成，後藤 晋・高橋 誠：日本森林学会誌Vol.87，p . 161-169 (2005)。
- 10) Wang X.-R., Lindgren D., Szmidt A. E. and Yazdani R. : Scandinavian J. For. Res. 6，p . 379 - 385 (1991)。
- 11) 後藤 晋，宮原文彦，井出雄二：林木の育種 203，p . 6 - 10 (2002)。
- 12) Tang D. Q. and Ide Y. : J. For. Res. 6，p . 67 - 72 (2001)。
- 13) Goto S., Miyahara F. and Ide Y. : Can. J. For. Res. 32，p . 983 - 988 (2002)。

- 14) 後藤 晋, 宮原文彦間, 井出雄二: 日本林学会誌Vol.84, p. 45 - 49 (2002).
- 15) 半田孝俊, 加藤一隆, 植木忠二, 河村嘉一郎: 日本林学会論文集第106号, p. 295 - 296 (1995).
- 16) 河原孝行, 村上哲明, 瀬戸口浩彰, 津村義彦: 日本植物分類学会会報 11, p. 13 - 32 (1995).
- 17) 草葉敏郎, 作山 健, 細川久藏, 小岩敏幸: 岩手県林業技術センター研究報告 6, p. 1 - 15. (1996).
- 18) 寺田貴美雄, 戸田忠雄, 野口常介: 林木育種センター東北育種場年報 27, p. 57 - 59. (1997).
- 19) 遠藤良太, 明石孝輝: 日本林学会誌Vol.85, p. 241 - 244 (2003).
- 20) 岩澤勝巳: 日本林学会関東支部論文集46, p. 89 - 90. (1995).
- 21) 戸田忠雄, 田島正啓, 西村慶二, 竹内寛興: 日本林学会九州支部研究論文集46, p. 77 - 78 (1993).
- 22) Goto S., Watanabe A., Miyahara F. and Mori Y.: *Silvae Genetica*. in press, (2005).
- 23) Wakushima S., Yoshioka H. and Sakurai N.: *J. For. Res.* 2, p. 51 - 57. (1997).
- 24) 小澤 創, 渡邊次郎: 東北森林科学会第9回大会講演要旨集, 盛岡, 2004, p. 47
- 25) 小澤 創, 陳 宏玲, 渡邊次郎: 東北森林科学会第10回大会講演要旨集, 弘前, 2005, p. 57.
- 26) 小澤 創, 渡邊次郎, 陳 宏玲, 渡邊敦史: 林木の育種, 217, p. 1 - 5 (2005).
- 27) 渡邊次郎, 斎藤 寛, 小澤 創: 東北森林科学会第7回大会講演要旨集, 福島, 2002, p. 49.
- 28) 渡邊次郎, 斎藤 寛, 小澤 創: 林木の育種「特別号」, p. 1 - 4 (2003).
- 29) 渡邊次郎: 東北森林科学会第6回大会講演要旨集, 鶴岡, p. 23 (2001).
- 30) 根岸賢一郎, 堤 利夫: 樹木 - 形態と機能 -, 文永社, 東京, p. 309 (1978).
- 31) 四手井綱英: アカマツ林の造成 - 基礎と実際 -, 地球出版, 東京, p. 325 (1963).
- 32) 中平幸助, 染郷正孝: つぎ木・とり木の実際 造園木の手引き, 地球社, 東京, p. 246 (1973).
- 33) 根岸賢一郎, 佐々木恵彦: 樹木の生長と環境, 養賢社, 東京, p. 383 (1987).
- 34) 田村浩忠ほか10名: 松くい虫(マツノザイセンチュウ病) - 沿革と最近の研究 -, 全国森林病虫獣防除協会, 協文社, 東京, p. 178 - 180 (1997).
- 35) 吉良龍夫: 陸上生態系 - 概論 - (生態学講座18), 共立出版, 東京, p. 166 (1976).
- 36) 渡邊次郎: 全国林業試験研究機関協議会会誌, 34, p. 44 - 45, (2002).
- 37) 独立行政法人林木育種センター: 林木育種技術ニュース, 26, p. 8 (2006).
- 38) 渡邊次郎, 斎藤 寛, 小澤 創: 林木の育種「特別号」, p. 1 - 4 (2003).
- 39) 渡邊次郎, 小澤 創: 林木の育種「特別号」, p. 7 - 9 (2005).
- 40) 渡邊次郎, 小澤 創: 東北森林科学会第10回大会講演要旨集, 弘前, 2005, p. 56
- 41) 渡辺政俊ほか: 日本林学会誌Vol.50(4), p. 87 - 92 (1968).
- 42) 大山浪雄ほか: 林業試験場研究報告 179, p. 99 - 125 (1965).
- 43) 沖村義人: 島根大学演習林報告 5, p. 1 - 131 (1976).
- 44) 石川広隆: 第74回日本林学会大会講演集, p. 215 - 217 (1963).