

論文

クロマツ実生家系からのマツノザイセンチュウ抵抗性個体の選抜

岡村政則⁽¹⁾・倉本哲嗣⁽¹⁾・佐々木峰子⁽¹⁾・平岡裕一郎⁽¹⁾・藤澤義武⁽¹⁾・戸田忠雄⁽¹⁾

Masanori Okamura⁽¹⁾, Noritsugu Kuramoto⁽¹⁾, Mineko Sasaki⁽¹⁾, Yuichiro Hiraoka⁽¹⁾,
Yoshitake Fujisawa and Tadao Toda

Selection of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) resistant to pine wilt disease from open pollinated families

要旨：マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業で選抜されたクロマツ抵抗性個体は16個体と少なく、採種園を維持していくには不十分である。そのため、抵抗性個体を追加選抜する必要がある。そこで、林木育種センター九州育種場では1995年より実生家系からの選抜に着手した。その方法は、まず、九州育種基本区の4箇所の地域から候補母樹を102個体選定して種子を採取し、この種子から家系別に苗を養成した。次に床替えした苗にマツノザイセンチュウ「島原個体群」を5,000頭ずつ接種する一次検定（1回目接種）を行った。この接種により生き残った個体に翌年10,000頭ずつ接種する一次検定（2回目接種）を行った。この手順によって67個体の抵抗性候補木を選抜した。さらにこの候補木からつぎ木苗を養成してラメート毎に10,000頭のマツノザイセンチュウを接種する二次検定（クローン検定）を行った。その結果を基にして、「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」に従って「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」で得られた抵抗性個体13個体の後代との抵抗性の比較を行った。その結果を、林木育種推進九州地区協議会等で検討を行い、17個体をクロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性新品種の候補とした。最終的にこの結果を「独立行政法人林木育種センター新品種開発委員会」において「クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性品種」として決定した。

(1) 林木育種センター九州育種場

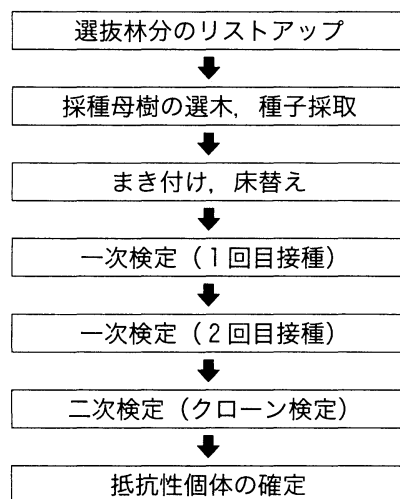
〒861-1102 熊本県菊池郡西合志町須屋2320-5

Kyushu Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

2320-5 Suya, Nishigoshi, Kikuchi, Kumamoto 861-1102 Japan

1 はじめに

マツの材線虫病は、東北地方や、高海拔地等、これまでに被害の見られなかった地域にまで拡大が進んでいる。「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」は当時被害が最も多く発生した西日本を中心として1978年に開始された。その結果、クロマツの抵抗性個体は16個体が選抜されており、種子の生産性、後代の抵抗性等が家系によって異なることが明らかになってきた³⁾。しかし、抵抗性個体の数が少ないことから採種園の維持管理や体質改善を行うことが難しいので、追加選抜するなどの対策をとる必要がある。そこで、林木育種センター九州育種場（以下九州育種場）では1995年よりクロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性個体の追加選抜に着手した。その方法は、これまでと異なっており、その概要を次に示す（図－1）。



図－1 抵抗性個体の選抜までの流れ

まず、九州育種基本区の4箇所の地域から候補母樹（種子採取木）を102個体選定して採種した。この種子から家系別に苗木を養成してこれらにマツノザイセンチュウ「島原個体群」（以下「島原」）を5,000頭ずつ接種する一次検定（1回目接種）を行った。その結果、枯損部分の全くない健全に生き残った個体に翌年10,000頭ずつ接種する一次検定（2回目接種）を行った。この手順によって67個体の抵抗性候補木を選抜した。さらにこの候補木からつぎ木苗を養成し、ラメート毎に10,000頭のザイセンチュウを接種する二次検定（クローン検定）を行った。この時、「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」に従い、「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」で得られた抵抗性個体13個体からの自然交配家系の抵抗性との比較を行った結果、46個体が合格となり、そのうち17個体をマツノザイセンチュウ抵抗性品種とした。これらの個体を「独立行政法人林木育種センター新品種開発委員会」が検討した結果、「クロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性品種」として公表を行った。本報告ではこれまでの経緯を報告する。

抵抗性個体の選抜を進めるに当たり九州森林管理局佐賀森林管理署、同宮崎森林管理署、同鹿児島森林管理署、天草森林組合、九州大学、九州各県関係機関、九州育種場職員各位の多大なご協力に深く感謝申し上げます。

2 候補母樹の選抜及び球果の採取

候補母樹を選抜するため、先ず九州地方のクロマツ林分の被害状況等について情報収集を行った。その結果、母樹の選抜場所として、被害を受けた地域であること、生存個体・林分があることを考慮し、佐賀県の虹ノ松原、熊本県の天草、宮崎県の一ツ葉海岸、鹿児島県の吹上浜の4地域に決定した（表－1）。

表－1 地域別採種個体数

家系名	地 域	採種個体数
佐 賀	佐賀県 虹ノ松原	25
天 草	熊本県 天草	25
宮 崎	宮崎県 一ツ葉海岸	26
鹿児島	鹿児島県 吹上浜	26
計	4 箇所	102

熊本県天草地域においてはマツの材線虫病の被害跡地で単木または数本成立している小集団の8林分から抵抗性候補母樹を選抜した。これらの林分は薬剤散布等の防除は行われていないが、枯損木は除去されていた。他の3地域は景勝地であることから、薬剤等による防除が毎年行われており、大きな林分が残存していた。以上の地域で抵抗性候補母樹の選定に当たって、林分の上層木であること、母樹の外部形態がクロマツ型であること、そして、球果が多数着生していることを選抜の基準とした。また、各個体の林分での近縁度を考慮して可能な限り距離を置いて選抜した。各地域からそれぞれ、佐賀県虹ノ松原地域から25個体、熊本県天草地域から25個体、宮崎県一ツ葉海岸地域から26個体、鹿児島県吹上浜地域から26個体、計102個体の抵抗性候補母樹を選抜した。これらから1候補個体当たり30球果を採取し、種子重、千粒重、全粒数および発芽率を調査した。また、クロマツであるかを確認するため、各候補母樹から針葉を20ずつ採取し、樹脂道指数を調査した。

母樹の樹高と胸高直径、30球果から得られた種子重、千粒重および全粒数、種子の発芽率を表－2に示した。充実種子の千粒重は地域平均で12.6～15.0gの範囲であり、佐賀県虹ノ松原地域及び熊本県天草地域が重い傾向を示した。

表-2 採種母樹の種子等の形質

家系名	樹高 (m)	直径 (cm)	総種子重 (g)	千粒重 (g)	全粒数 (粒)	発芽率 (%)
佐 賀 1	13.0	53.0	10.0	19.7	508	71.7
佐 賀 2	12.0	65.0	19.0	14.3	1,329	79.2
佐 賀 3	10.0	53.0	23.2	16.3	1,421	86.7
佐 賀 4	10.0	46.0	7.2	16.0	449	85.8
佐 賀 5	10.0	31.0	22.5	14.5	1,554	89.6
佐 賀 6	8.0	25.5	18.2	11.7	1,556	62.7
佐 賀 7	12.0	53.0	25.7	15.9	715	84.0
佐 賀 8	7.0	39.0	13.3	13.4	989	83.9
佐 賀 9	15.0	56.0	20.7	13.6	1,524	68.0
佐 賀10	15.0	34.0	34.7	16.6	2,092	49.6
佐 賀11	8.0	19.5	19.8	14.1	1,401	64.6
佐 賀12	10.0	32.0	13.3	8.5	1,559	56.1
佐 賀13	7.0	43.5	13.9	13.9	999	68.4
佐 賀14	10.0	44.0	6.7	15.0	449	52.2
佐 賀15	12.0	42.0	34.7	16.8	2,067	68.7
佐 賀16	5.0	25.5	7.9	10.4	759	71.6
佐 賀17	8.0	35.5	22.1	14.5	1,522	70.8
佐 賀18	7.0	27.0	8.7	8.4	1,040	28.2
佐 賀19	7.0	38.0	20.8	15.5	1,339	79.1
佐 賀20	5.0	55.0	12.7	11.1	1,140	67.3
佐 賀21	8.0	59.0	19.0	14.3	1,331	77.2
佐 賀22	27.0	40.0	5.7	10.9	526	39.0
佐 賀23	10.0	37.0	28.4	17.0	1,668	68.7
佐 賀24	10.0	29.5	36.9	17.5	2,109	90.3
佐 賀25	10.0	31.0	27.2	14.7	1,853	78.5
佐賀平均	10.2	40.6	18.9	14.2	1,276	69.7
天 草 1	3.0	8.0	4.3	12.7	335	43.6
天 草 2	2.0	8.0	8.0	8.7	918	69.9
天 草 3	3.5	8.0	16.1	12.6	1,275	48.9
天 草 4	4.0	10.0	15.0	17.7	846	43.5
天 草 5	3.0	5.0	15.8	15.5	1,020	53.0
天 草 6	4.5	17.0	9.2	14.7	627	40.9
天 草 7	1.5	5.0	19.0	12.9	1,474	43.1
天 草 8	4.0	11.0	23.4	15.2	1,539	48.6
天 草 9	4.5	8.0	35.8	16.2	2,210	50.2
天 草10	6.0	23.0	10.8	10.8	1,000	49.2
天 草11	4.0	11.0	8.0	7.4	1,082	27.4
天 草12	5.5	15.0	8.6	11.6	740	49.4
天 草13	6.0	24.0	2.7	8.0	340	25.9
天 草14	6.0	14.0	2.6	13.8	191	57.7
天 草15	3.5	10.0	12.9	17.3	745	41.9
天 草16	3.0	10.0	4.5	23.2	192	40.1
天 草17	4.5	16.0	20.1	18.5	1,085	52.9
天 草18	4.5	12.0	30.4	20.2	1,503	56.6
天 草19	5.0	23.0	26.7	19.3	1,382	42.8
天 草20	6.0	16.0	2.4	28.2	85	69.4
天 草21	6.5	17.0	3.6	18.5	196	61.2
天 草22	9.0	25.0	21.8	14.0	1,555	35.6
天 草23	12.0	46.0	15.5	14.8	1,046	49.4
天 草24	7.0	30.0	3.6	8.9	407	20.7
天 草25	9.0	29.0	1.3	14.0	92	66.3
天草平均	5.1	16.0	12.9	15.0	875.4	47.5

表-2 採種母樹の種子等の形質(続き)

家系名	樹高 (m)	直径 (cm)	総種子重 (g)	千粒重 (g)	全粒数 (粒)	発芽率 (%)
宮崎1	5.0	22.0	2.8	10.3	269	85.2
宮崎2	7.0	20.5	9.0	10.1	887	86.5
宮崎3	7.0	21.0	2.7	13.6	200	83.5
宮崎4	6.0	18.0	14.0	9.4	1,491	73.9
宮崎5	7.0	34.0	19.7	16.3	1,206	54.8
宮崎6	5.0	13.0	21.1	12.2	1,730	70.4
宮崎7	9.0	28.0	11.5	9.5	1,205	62.3
宮崎8	10.0	27.0	2.1	9.6	217	74.3
宮崎9	10.0	29.0	6.9	10.2	679	65.3
宮崎10	10.0	22.0	4.6	11.2	414	67.8
宮崎11	11.0	30.0	3.6	11.2	324	82.4
宮崎12	5.0	22.0	1.5	11.0	136	62.3
宮崎13	7.0	19.0	3.0	12.0	248	95.8
宮崎14	10.0	34.0	15.3	11.4	1,340	66.3
宮崎15	6.0	16.0	8.3	13.9	276	63.4
宮崎16	9.0	27.0	6.1	11.8	513	79.3
宮崎17	11.0	30.0	13.5	13.7	984	78.4
宮崎18	13.0	32.0	5.0	10.6	899	50.1
宮崎19	13.0	30.0	26.7	20.0	1,333	87.4
宮崎20	4.0	17.0	17.2	12.3	1,395	62.2
宮崎21	4.5	18.0	9.4	13.1	679	70.5
宮崎22	10.0	24.0	9.9	12.9	765	76.1
宮崎23	7.0	15.0	22.3	19.7	1,129	82.9
宮崎24	8.0	18.0	5.8	15.1	383	85.2
宮崎25	7.0	19.0	10.0	10.1	987	78.8
宮崎26	7.0	22.0	6.3	15.4	411	75.2
宮崎平均	8.0	23.4	9.9	12.6	773.1	73.9
鹿児島1	9.0	19.5	9.5	15.1	628	67.0
鹿児島2	9.0	25.0	7.5	10.2	736	69.6
鹿児島3	8.0	13.5	14.4	14.6	986	70.7
鹿児島4	4.0	10.0	21.2	18.6	1,137	81.1
鹿児島5	—	—	5.9	14.5	404	67.6
鹿児島6	13.0	42.0	2.7	12.7	213	60.0
鹿児島7	11.0	26.0	4.1	15.3	270	61.1
鹿児島8	11.0	36.0	17.0	15.1	1,123	59.8
鹿児島9	12.0	30.0	12.3	12.6	979	77.6
鹿児島10	7.0	12.0	5.3	14.7	363	65.9
鹿児島11	6.0	12.0	22.9	13.9	1,647	58.4
鹿児島12	8.0	29.5	2.0	12.8	156	59.5
鹿児島13	7.0	14.5	18.6	13.2	1,412	50.2
鹿児島14	11.0	30.0	2.9	9.5	308	39.9
鹿児島15	11.0	32.0	19.2	13.5	1,419	62.1
鹿児島16	11.0	21.0	27.3	15.9	1,716	55.8
鹿児島17	15.0	38.0	1.2	13.7	89	40.4
鹿児島18	13.0	18.0	9.0	14.3	562	54.6
鹿児島19	9.0	18.0	18.6	20.7	900	37.7
鹿児島20	4.0	9.5	10.4	13.0	802	35.3
鹿児島21	5.0	9.0	7.9	15.1	524	75.2
鹿児島22	7.0	13.0	7.7	12.6	610	74.3
鹿児島23	10.0	24.2	8.0	16.3	488	83.8
鹿児島24	12.0	31.0	4.3	10.2	418	8.1
鹿児島25	15.0	38.0	12.8	9.4	1,365	77.3
鹿児島26	—	—	5.1	10.8	471	69.3
鹿児島平均	9.5	23.0	10.7	13.8	758.7	60.1
全 体	8.2	25.7	13.1	13.9	920.8	62.9

注) —は未調査

次にこれらの球果採取を行った母樹がクロマツであるかどうかを樹脂道指数で調べ、その各選抜地域での状況を表－3に示した。

表－3 樹脂道指数と後代における樹種型出現率の地域別平均値

産地	母樹数 (個体)	樹脂道指数 (分布幅)	赤芽系 (%)	中間 (%)	白芽系 (%)
虹ノ松原	25	1.983 (1.935～2.000)	18.0	62.3	19.7
天 草	25	1.982 (1.692～2.000)	17.6	47.9	34.5
一ツ葉海岸	26	1.979 (1.792～2.000)	17.4	61.0	21.5
吹 上 浜	26	1.984 (1.936～2.000)	15.2	56.9	27.9
計	102	1.983 (1.692～2.000)	17.3	58.6	24.2

樹種の区分について渡邊らは樹脂道指数とDNAマーカーを用いた区分での比較を行い樹脂道指数が1.8以上をクロマツとしている⁸⁾。今回種子を採種した母樹のうち、天草4（樹脂道指数：1.692）と宮崎4（樹脂道指数：1.792）の2母樹以外は樹脂道指数が1.8以上で、クロマツであると判定された。

3 実生苗の育成

採種した102家系の種子を1996年3月にまき付けた。1997年3月に毛苗の冬芽の外観色によって、赤芽系（アカマツ型）、中間（アイマツ～アイグロ型）、白芽系（クロマツ型）に選別した。各家系の冬芽の色を基準にした色別の出現率は表－3に示すように全体では赤芽系17.3%、中間58.6%、白芽系24.2%であった。地域別の出現率も中間が多く、赤芽系、白芽系が少ない傾向を示したが天草の母樹からは白芽系が34.5%、中間が47.9%と他の地域とは異なる出現率であった。その理由は、天草地域はクロマツ型によって構成された林分であり、クロマツ同士の交配が行われ、後代にクロマツ型の出現率が高くなったものと考えられる。一方、他の3地域ではアイグロマツ等、雑種性の高いもので林分が構成されており、球果を採取した母樹がクロマツであってもアイグロマツとの交雑が起こりやすく、中間の苗が多く出現したと考えられる。これらの苗から、クロマツと期待できる白芽のものとそれに近い苗を家系毎に目標120本を選び、床替えした^{1), 4), 5)}。なお、表－4に、各家系の冬芽色個体の頻度ならびに接種個体数を示す。

表-4 各家系の冬芽色区分毎の個体数および接種本数

家系名	冬芽区分				接種数 (本)
	赤芽 (本)	中間 (本)	白芽 (本)	計 (本)	
佐 賀 1	9	129	44	182	115
佐 賀 2	73	173	32	278	112
佐 賀 3	6	229	32	267	112
佐 賀 4	37	195	37	269	115
佐 賀 5	10	214	85	309	102
佐 賀 6	12	192	65	269	119
佐 賀 7	93	124	47	264	120
佐 賀 8	3	197	113	313	114
佐 賀 9	84	130	36	250	114
佐 賀10	59	180	59	298	118
佐 賀11	20	172	37	229	119
佐 賀12	77	231	22	330	113
佐 賀13	92	101	54	247	120
佐 賀14	11	108	56	175	120
佐 賀15	78	300	31	409	113
佐 賀16	87	200	57	344	116
佐 賀17	49	162	33	244	117
佐 賀18	53	79	36	168	118
佐 賀19	0	151	104	255	114
佐 賀20	114	165	24	303	117
佐 賀21	91	142	37	270	118
佐 賀22	6	134	39	179	119
佐 賀23	57	137	8	202	119
佐 賀24	157	287	72	516	119
佐 賀25	2	219	46	267	120
佐賀総数	1,280	4,351	1,206	6,837	2,903
佐賀出現率平均 (%)	18.7	63.6	17.6		
天 草 1	29	78	38	145	115
天 草 2	287	91	24	402	114
天 草 3	45	126	23	194	120
天 草 4	0	42	81	123	103
天 草 5	12	50	109	171	120
天 草 6	0	35	104	139	121
天 草 7	3	63	101	167	120
天 草 8	12	95	52	159	119
天 草 9	6	218	86	310	120
天 草10	10	181	37	228	121
天 草11	6	102	77	185	119
天 草12	52	123	38	213	120
天 草13	24	58	7	89	83
天 草14	15	84	11	110	102
天 草15	19	65	36	120	102
天 草16	24	29	24	77	59
天 草17	0	32	111	143	120
天 草18	12	45	223	280	120
天 草19	28	108	86	222	120
天 草20	4	34	22	60	54
天 草21	0	68	52	120	83
天 草22	49	58	20	127	97
天 草23	49	88	30	167	118
天 草24	13	58	13	84	64
天 草25	13	42	5	60	54
天草総数	712	1,973	1,410	4,095	2,588
天草出現率平均 (%)	17.4	48.2	34.4		

表-4 各家系の冬芽色区分毎の個体数および接種本数(続き)

家系名	冬芽区分				接種数 (本)
	赤芽 (本)	中間 (本)	白芽 (本)	計 (本)	
宮崎1	62	141	25	228	120
宮崎2	50	252	126	428	117
宮崎3	28	117	22	167	119
宮崎4	84	258	51	393	116
宮崎5	24	107	36	167	119
宮崎6	5	371	201	577	119
宮崎7	32	222	75	329	119
宮崎8	82	61	18	161	115
宮崎9	66	217	36	319	120
宮崎10	45	201	35	281	118
宮崎11	13	175	79	267	119
宮崎12	16	39	30	85	72
宮崎13	5	171	61	237	120
宮崎14	64	164	64	292	120
宮崎15	31	164	33	228	121
宮崎16	100	152	84	336	118
宮崎17	85	157	44	286	120
宮崎18	50	146	39	235	118
宮崎19	32	249	155	436	109
宮崎20	49	168	36	253	119
宮崎21	71	156	42	269	121
宮崎22	22	174	98	294	119
宮崎23	114	239	68	421	118
宮崎24	37	162	84	283	118
宮崎25	97	225	68	390	116
宮崎26	59	158	27	244	102
宮崎総数	1,323	4,646	1,637	7,606	3,012
宮崎出現率平均(%)	17.4	61.1	21.5		
鹿児島1	31	176	15	222	121
鹿児島2	51	158	133	342	118
鹿児島3	87	53	103	243	119
鹿児島4	59	202	176	437	120
鹿児島5	11	167	55	233	120
鹿児島6	2	110	15	127	81
鹿児島7	50	71	44	165	119
鹿児島8	34	129	34	197	114
鹿児島9	124	104	80	308	120
鹿児島10	45	127	52	224	121
鹿児島11	61	258	101	420	119
鹿児島12	4	69	20	93	72
鹿児島13	22	113	55	190	119
鹿児島14	29	75	18	122	101
鹿児島15	35	159	37	231	116
鹿児島16	28	163	160	351	121
鹿児島17	12	8	17	37	29
鹿児島18	33	108	49	190	70
鹿児島19	10	46	34	90	70
鹿児島20	22	152	77	251	120
鹿児島21	2	112	134	248	120
鹿児島22	9	193	93	295	120
鹿児島23	61	98	98	257	113
鹿児島24	28	5	1	34	15
鹿児島25	48	330	32	410	119
鹿児島26	22	248	51	321	116
鹿児島総数	920	3,434	1,684	6,038	2,693
鹿児島出現率平均(%)	15.2	56.9	27.9		
全体総数	4,235	14,404	5,937	24,576	11,196
全体平均	17.2	58.6	24.2		

4 接種検定

4.1 一次検定（1回目接種）

1997年7月24日に苗木1本当たり5,000頭のザイセンチュウ「島原」を剥皮接種法で苗木の地際部に接種した。
接種後150日を経過した1997年12月22日に生存個体数を調査した（表-5）。

表-5 一次検定結果

家系名	一次検定結果（1回目）				一次検定結果（2回目）			
	接種数 (本)	生存数 (本)	枯損数 (本)	生存率 (%)	接種数 (本)	生存数 (本)	枯損数 (本)	生存率 (%)
佐賀1	115	25	90	21.7	25	13	12	52.0
佐賀2	112	17	95	15.2	17	3	14	17.6
佐賀3	112	43	69	38.4	42	27	15	64.3
佐賀4	115	10	105	8.7	10	7	3	70.0
佐賀5	102	3	99	2.9	3	1	2	33.3
佐賀6	119	11	108	9.2	11	1	10	9.1
佐賀7	120	22	98	18.3	22	9	13	40.9
佐賀8	114	26	88	22.8	26	10	16	38.5
佐賀9	114	36	78	31.6	36	22	14	61.1
佐賀10	118	65	53	55.1	62	32	30	51.6
佐賀11	119	34	85	28.6	34	10	24	29.4
佐賀12	113	18	95	15.9	18	3	15	16.7
佐賀13	120	27	93	22.5	27	6	21	22.2
佐賀14	120	42	78	35.0	42	6	36	14.3
佐賀15	113	8	105	7.1	8	1	7	12.5
佐賀16	116	14	102	12.1	13	4	9	30.8
佐賀17	117	48	72	41.0	48	29	19	60.4
佐賀18	118	26	92	22.0	26	10	16	38.5
佐賀19	114	37	77	32.5	37	18	19	48.6
佐賀20	117	17	100	14.5	17	2	15	11.8
佐賀21	118	16	104	13.6	16	5	11	31.3
佐賀22	119	37	82	31.1	36	12	24	33.3
佐賀23	119	12	107	10.1	12	1	11	8.3
佐賀24	119	27	92	22.7	27	17	10	63.0
佐賀25	120	43	77	35.8	42	29	13	69.0
佐賀総数	2,903	664	2,244	—	657	278	379	—
佐賀平均	116	27	90	22.9	26	11	15	42.3
天草1	115	2	113	1.7	2	2	0	100.0
天草2	114	22	92	19.3	22	13	9	59.1
天草3	120	14	106	11.7	14	3	11	21.4
天草4	103	13	90	12.6	13	8	5	61.5
天草5	120	15	105	12.5	13	1	12	7.7
天草6	121	14	107	11.6	14	4	10	28.6
天草7	120	3	117	2.5	3	1	2	33.3
天草8	119	9	110	7.6	9	6	3	66.7
天草9	120	16	104	13.3	16	7	9	43.8
天草10	121	17	104	14.0	17	3	14	17.6
天草11	119	15	104	12.6	15	11	4	73.3
天草12	120	31	89	25.8	30	19	11	63.3
天草13	83	7	76	8.4	7	4	3	57.1
天草14	102	27	75	26.5	27	22	5	81.5
天草15	102	2	100	2.0	2	1	1	50.0
天草16	59	11	48	18.6	7	5	2	71.4
天草17	120	7	113	5.8	7	3	4	42.9
天草18	120	22	98	18.3	21	9	12	42.9
天草19	120	38	82	31.7	38	23	15	60.5
天草20	54	21	33	38.9	20	17	3	85.0
天草21	83	32	51	38.6	32	6	26	18.8
天草22	97	54	43	55.7	53	13	40	24.5
天草23	118	48	70	40.7	47	7	40	14.9
天草24	64	0	64	0.0				
天草25	54	12	42	22.2	12	6	6	50.0
天草総数	2,588	452	2,136	—	441	194	247	—
天草平均	104	18	85	17.5	18	8	10	44.0

表-5 一次検定結果 (続き)

家系名	一次検定結果 (1回目)				一次検定結果 (2回目)			
	接種数 (本)	生存数 (本)	枯損数 (本)	生存率 (%)	接種数 (本)	生存数 (本)	枯損数 (本)	生存率 (%)
宮崎1	120	12	108	10.0	12	6	6	50.0
宮崎2	117	10	107	8.5	10	3	7	30.0
宮崎3	119	14	105	11.8	14	5	9	35.7
宮崎4	116	9	107	7.8	8	4	4	50.0
宮崎5	119	24	95	20.2	23	10	13	43.5
宮崎6	119	16	103	13.4	15	5	10	33.3
宮崎7	119	11	108	9.2	10	3	7	30.0
宮崎8	115	9	106	7.8	9	5	4	55.6
宮崎9	120	16	104	13.3	16	6	10	37.5
宮崎10	118	21	97	17.8	21	13	8	61.9
宮崎11	119	12	107	10.1	11	4	7	36.4
宮崎12	72	3	69	4.2	3	0	3	0.0
宮崎13	120	8	112	6.7	8	3	5	37.5
宮崎14	120	15	105	12.5	15	9	6	60.0
宮崎15	121	7	114	5.8	7	5	2	71.4
宮崎16	118	8	110	6.8	8	6	2	75.0
宮崎17	120	9	111	7.5	9	3	6	33.3
宮崎18	118	5	113	4.2	5	1	4	20.0
宮崎19	109	6	103	5.5	6	3	3	50.0
宮崎20	119	4	115	3.4	3	3	0	100.0
宮崎21	121	6	115	5.0	6	2	4	33.3
宮崎22	119	8	111	6.7	8	3	5	37.5
宮崎23	118	3	115	2.5	3	1	2	33.3
宮崎24	118	10	108	8.5	10	4	6	40.0
宮崎25	116	1	115	0.9	1	0	1	0.0
宮崎26	102	3	99	2.9	3	0	3	0.0
宮崎総数	3,012	250	2,762	—	244	107	137	—
宮崎平均	116	10	106	8.3	9	4	5	43.9
鹿児島1	121	8	113	6.6	8	3	5	37.5
鹿児島2	118	20	98	16.9	20	5	15	25.0
鹿児島3	119	25	94	21.0	25	9	16	36.0
鹿児島4	120	17	103	14.2	16	4	12	25.0
鹿児島5	120	35	85	29.2	33	25	8	75.8
鹿児島6	81	8	73	9.9	8	1	7	12.5
鹿児島7	119	5	114	4.2	5	4	1	80.0
鹿児島8	114	9	105	7.9	9	3	6	33.3
鹿児島9	120	49	71	40.8	49	30	19	61.2
鹿児島10	121	8	113	6.6	8	4	4	50.0
鹿児島11	119	11	108	9.2	10	4	6	40.0
鹿児島12	72	3	69	4.2	3	1	2	33.3
鹿児島13	119	13	106	10.9	13	6	7	46.2
鹿児島14	101	6	95	5.9	6	0	6	0.0
鹿児島15	116	4	112	3.4	4	2	2	50.0
鹿児島16	121	10	111	8.3	10	6	4	60.0
鹿児島17	29	3	26	10.3	3	0	3	0.0
鹿児島18	120	3	117	2.5	3	1	2	33.3
鹿児島19	70	14	56	20.0	14	2	12	14.3
鹿児島20	120	1	119	0.8	1	1	0	100.0
鹿児島21	120	5	115	4.2	5	2	3	40.0
鹿児島22	120	18	102	15.0	18	6	12	33.3
鹿児島23	113	16	97	14.2	16	13	3	81.3
鹿児島24	15	1	14	6.7	1	1	0	100.0
鹿児島25	119	11	108	9.2	11	5	6	45.5
鹿児島26	116	9	107	7.8	9	0	9	0.0
鹿児島総数	2,743	312	2,431	—	308	138	170	—
鹿児島平均	106	12	94	11.4	12	5	7	44.8
全体総数	11,246	1,678	9,573	—	1,650	717	933	—
全体平均	110	17	94	15.0	16	7	9	43.7

その結果、各家系の生存率は0.0～55.7%（全体平均14.9%）となった。選抜地域別に平均生存率をみると、佐賀県虹ノ松原が他の地域に比べて高かった（表－5）。この原因は明らかではないが、佐賀県虹ノ松原地域産の各家系での白芽苗の比率が17.6%と最も低かったことから（表－4）、同地域に分布する雑種性の高いアイグロマツ等の個体との交雑が起こっている可能性があると考えられた⁶⁾。

4.2 一次検定（2回目接種）

一次検定（1回目接種）の結果、部分枯れのない健全な個体の中から1,650本（101家系）に対して一次検定（2回目接種）を行った。1998年7月24日に苗木1本当たり10,000頭のマツノザイセンチュウ「島原」を剥皮接種法で前年伸長基部に接種した。接種による枯損結果が判明する接種後8週目の1998年9月24日に生存個体数を調査した（表－5）。2回目接種の段階で、5家系ですべての個体が枯死した。地域別の生存率は42.3～44.8%（平均43.5%）であった。1回目接種の一次検定の地域別生存率は8.3～22.9%（全体平均14.9%）であったことから、2回目の接種では地域間のバラツキは著しく小さくなった。

1999年2月に、2回目接種ですべての個体が枯死した6家系をのぞいた95家系の中から、健全で冬芽色、針葉の感触等がクロマツであることを重点にして、67家系より各1本、67個体の抵抗性候補個体を選抜した。1999年3月に二次検定に備えてこの候補木より穂木を採取し、候補木あたり20本を目標につぎ木苗を養成した⁶⁾。

4.3 二次検定（クローン検定）

二次検定（クローン検定）は、一次検定において選抜した67個体のつぎ木クローンについて実施した。その方法は、2001年7月24日に各クローン3～20本、合計1,054本に、マツノザイセンチュウ「島原」を10,000頭ずつ当年に伸長した主軸に剥皮接種法で接種した²⁾。対照には「マツノザイセンチュウ抵抗性育種事業」で開発した抵抗性個体から構成される、抵抗性クロマツ交配園産の13自然交配家系を用いた。接種後8週間を経過した2001年9月18日に生存個体数および枯死部分が認められない健全な個体数を調査し、生存率と健全率を算出した。その結果、67クローンの生存率は25.0%から100.0%、平均69.3%で、健全率は0.0%から94.7%、平均32.9%であった。これに対する対照木とした13自然交配家系の平均生存率は50.0%、健全率は44.5%であった（表－6）。これを「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」に従って評価した。評価は次による評点の算出方法によって行い、マイナスの値であれば合格である。その結果、67クローン中、46クローンが合格となった。

評点の算出方法

$$P = \{(A-a)/A\} \times 10 + \{(B-b)/B\} \times 5$$

P：評点

A：対照家系の生存率

B：対照家系の健全率

a：候補木個体クローンの生存率

b：候補木個体クローンの健全率

表-6 二次検定 (クローン検定) 結果

クローン名	接種本数 (本)	健全本数 (本)	健全率 (%)	生存本数 (本)	生存率 (%)	枯損本数 (本)	枯損率 (%)	評点 (P)	判定
佐賀9	19	18	94.7	18	94.7	1	5.3	-14.6	合格*
宮崎20	16	12	75.0	16	100.0	0	0.0	-13.4	合格*
佐賀4	17	12	70.6	16	94.1	1	5.9	-11.8	合格*
宮崎14	16	11	68.8	14	87.5	2	12.5	-10.2	合格*
佐賀11	19	14	73.7	16	84.2	3	15.8	-10.1	合格*
天草8	16	10	62.5	14	87.5	2	12.5	-9.5	合格*
佐賀16	20	13	65.0	17	85.0	3	15.0	-9.3	合格*
宮崎8	15	8	53.3	13	86.7	2	13.3	-8.3	合格*
鹿児島5	15	8	53.3	13	86.7	2	13.3	-8.3	合格*
佐賀17	19	12	63.2	15	78.9	4	21.1	-7.9	合格*
佐賀1	19	10	52.6	16	84.2	3	15.8	-7.8	合格*
宮崎15	15	9	60.0	12	80.0	3	20.0	-7.7	合格*
鹿児島25	14	5	35.7	13	92.9	1	7.1	-7.6	合格*
佐賀7	17	11	64.7	13	76.5	4	23.5	-7.6	合格*
天草20	16	7	43.8	14	87.5	2	12.5	-7.4	合格*
宮崎7	19	11	57.9	15	78.9	4	21.1	-7.3	合格*
鹿児島1	18	7	38.9	16	88.9	2	11.1	-7.1	合格*
佐賀22	17	8	47.1	14	82.4	3	17.6	-6.8	合格*
天草13	16	6	37.5	14	87.5	2	12.5	-6.7	合格*
佐賀19	19	10	52.6	15	78.9	4	21.1	-6.7	合格*
佐賀25	19	11	57.9	14	73.7	5	26.3	-6.2	合格*
宮崎4	18	10	55.6	13	72.2	5	27.8	-5.7	合格*
鹿児島16	11	6	54.5	8	72.7	3	27.3	-5.7	合格*
宮崎21	17	4	23.5	15	88.2	2	11.8	-5.3	合格*
佐賀10	3	0	0.0	3	100.0	0	0.0	-5.0	合格*
宮崎23	17	7	41.2	13	76.5	4	23.5	-4.9	合格*
佐賀18	19	8	42.1	14	73.7	5	26.3	-4.5	合格*
鹿児島4	11	3	27.3	9	81.8	2	18.2	-4.4	合格*
天草12	13	6	46.2	9	69.2	4	30.8	-4.0	合格*
天草21	15	4	26.7	12	80.0	3	20.0	-4.0	合格*
天草23	13	2	15.4	11	84.6	2	15.4	-3.7	合格*
佐賀24	17	8	47.1	11	64.7	6	35.3	-3.2	合格*
鹿児島22	15	1	6.7	13	86.7	2	13.3	-3.1	合格*
佐賀13	19	7	36.8	13	68.4	6	31.6	-2.8	合格*
佐賀12	16	4	25.0	12	75.0	4	25.0	-2.8	合格*
天草14	13	2	15.4	10	76.9	3	23.1	-2.1	合格*
宮崎9	12	4	33.3	8	66.7	4	33.3	-2.1	合格*
宮崎5	17	8	47.1	10	58.8	0	0.0	-2.1	合格*
天草4	9	1	11.1	7	77.8	2	22.2	-1.8	合格*
天草11	16	4	25.0	11	68.8	5	31.3	-1.6	合格*
佐賀8	18	8	44.4	10	55.6	8	44.4	-1.1	合格*
鹿児島2	14	2	14.3	10	71.4	4	28.6	-0.9	合格*
天草10	20	5	25.0	13	65.0	7	35.0	-0.8	合格*
天草6	14	5	35.7	8	57.1	6	42.9	-0.4	合格*
宮崎22	15	1	6.7	11	73.3	4	26.7	-0.4	合格*
天草22	18	5	27.8	11	61.1	7	38.9	-0.3	合格*
鹿児島3	15	3	20.0	9	60.0	6	40.0	0.8	合格*
鹿児島8	16	2	12.5	10	62.5	6	37.5	1.1	合格*
宮崎24	13	0	0.0	9	69.2	4	30.8	1.2	合格*
天草9	14	1	7.1	9	64.3	5	35.7	1.3	合格*
佐賀3	18	4	22.2	10	55.6	8	44.4	1.4	合格*
宮崎2	15	5	33.3	7	46.7	8	53.3	1.9	合格*
宮崎16	7	1	14.3	4	57.1	3	42.9	2.0	合格*
天草18	15	3	20.0	8	53.3	7	46.7	2.1	合格*
鹿児島13	19	3	15.8	10	52.6	9	47.4	2.7	合格*
宮崎10	16	5	31.3	7	43.8	9	56.3	2.7	合格*
鹿児島9	14	0	0.0	8	57.1	6	42.9	3.6	合格*
鹿児島23	16	2	12.5	8	50.0	8	50.0	3.6	合格*
佐賀21	18	5	27.8	7	38.9	11	61.1	4.1	合格*
宮崎11	17	2	11.8	7	41.2	10	58.8	5.4	合格*
宮崎1	16	1	6.3	7	43.8	9	56.3	5.5	合格*
宮崎19	16	0	0.0	7	43.8	9	56.3	6.3	合格*
鹿児島10	12	0	0.0	5	41.7	7	58.3	6.7	合格*
宮崎6	17	0	0.0	7	41.2	10	58.8	6.8	合格*
天草19	17	0	0.0	7	41.2	10	58.8	6.8	合格*
宮崎3	20	2	10.0	6	30.0	14	70.0	7.9	合格*
鹿児島7	12	0	0.0	3	25.0	9	75.0	10.0	合格*
全 体			32.9		69.3				
対照木			44.5		50.0				

*を付したクローンは、マツノザイセンチュウ抵抗性品種として決定されたクローンを示す。

なお、合格した46個体の樹脂道指数について2002年10月に調査を行った。その結果、7成長期を経過した時点の調査であったため、副樹脂道がまだ存在しない個体もあり、算出式に合わない個体もあったが主樹脂道は全ての個体でクロマツ型を示した。

5 抵抗性品種の決定

二次検定（クローン検定）における結果から評点を算出すると前述のとおり67個体中46個体が合格となったが、林木育種推進九州地区協議会等で検討を加えた結果、より厳しい評価を求める声が強かった。その結果、生存率が平均より2σを上回る上位の個体に絞り込み、地域性等を加味して17個体に決定した。この17個体の二次検定（クローン検定）における生存率は76.5%から100.0%であり、健全率は37.5%から94.7%であった。また、評点は-6.7から-14.6であった。なお、これらの個体の選抜地毎の数は佐賀県虹ノ松原地域から7個体、熊本県天草地域から3個体、宮崎県一ツ葉海岸地域から4個体、鹿児島県吹上浜地域から3個体である。抵抗性個体の名称については、便宜上使用していた名称を「マツノザイセンチュウ抵抗性事業実施要領」に従い表-7のとおりとした。

表-7 マツノザイセンチュウ抵抗性クロマツ品種一覧表

仮 称	名 称		母樹の所在地	
マツノザイセンチュウ抵抗性				
佐 賀 1	唐 津クー 1 号	虹ノ松原	佐賀森林管理署	浜崎虹ノ松原国有林126（佐賀県唐津市）
佐 賀 4	唐 津クー 4 号	//		//
佐 賀 7	唐 津クー 7 号	//		//
佐 賀 9	唐 津クー 9 号	//		//
佐 賀11	唐 津クー11号	//		//
佐 賀16	唐 津クー16号	//		//
佐 賀17	唐 津クー17号	//		//
天 草 8	河 浦クー 8 号	天草	熊本県天草郡河浦町崎津（民地）	
天 草13	河 浦クー13号	//	//	
天 草20	天 草クー20号	//	熊本県天草郡天草町高浜（民地）	
宮 崎 8	佐土原クー 8 号	一ツ葉海岸	宮崎森林管理署	一ツ葉国有林94り（宮崎県宮崎郡佐土原町）
宮 崎14	佐土原クー14号	//	宮崎森林管理署	一ツ葉国有林94ぬ（宮崎県宮崎郡佐土原町）
宮 崎15	佐土原クー15号	//		//
宮 崎20	宮 崎クー20号	//	宮崎森林管理署	一ツ葉国有林94に（宮崎県宮崎市）
鹿児島 1	日 吉クー 1 号	吹上浜	鹿児島森林管理署	吹上国有林68ほ（鹿児島県日置郡日吉町）
鹿児島 5	日 吉クー 5 号	//		//
鹿児島25	吹 上クー25号	//	鹿児島県日置郡吹上町（民有地）	

この結果を「独立行政法人林木育種センター新品種開発委員会」において検定し，新品種として決定した。

6 抵抗性品種のさし木発根性

今回開発された品種は若齢のため，さし木で繁殖できる可能性があった。そこで，約2mの高さで断幹，採穂台木仕立てで管理した個体から採穂した。17クローン中6クローンについては樹冠の上部，中部，下部に3区分して，発根試験を試みた。さし木は，ガラス温室内の灌水のできる環境で行った，また，直射日光を避けるため，白色の寒冷紗（東洋紡ES3000）を上面と側面に設置した。さし木は2004年3月26日に粗穂を採取し，約10cmの長さに水切りし，基部より2/3の位置まで針葉を取り除き濃度100ppmのIBA水溶液に24時間浸漬して鹿沼土細粒を入れた育苗箱にさし付けた。発根調査は8月12日に行った。

発根性の調査結果は，表－8に示す。

表－8 さし木発根試験結果（％）

クローン名 (確定名称)	IBA処理*				無処理			
	下部	中部	上部	平均**	下部	中部	上部	平均**
唐 津ク－1号				0.0				0.0
唐 津ク－4号	100	70	30	66.7	20	10	10	13.3
唐 津ク－7号				30.0				5.0
唐 津ク－9号	100	80	70	83.3	0	20	10	10.0
唐 津ク－11号				40.0				5.0
唐 津ク－16号	30	20	40	30.0	0	0	0	0.0
唐 津ク－17号				15.0				0.0
河 浦ク－8号	60	40	80	60.0	30	20	20	23.3
河 浦ク－13号				30.0				5.0
天 草ク－20号				40.0				50.0
佐土原ク－8号				0.0				0.0
佐土原ク－14号	50	40	30	40.0	10	0	0	3.3
佐土原ク－15号				65.0				15.0
宮 崎ク－20号				10.0				0.0
日 吉ク－1号	100	100	80	93.3	100	70	60	76.7
日 吉ク－5号				30.0				5.0
吹 上ク－25号				85.0				30.0

* IBA処理では，100ppmのIBA水溶液に穂の切り口を24時間浸漬した。

**部位別さし木実施クローンでは部位別に10本ずつさし木した結果の平均発根率を，それ以外のクローンは20本ずつさし木した結果の発根率を示す。

その結果、IBA処理をした場合の発根率はクローン平均値で0～93.3%、無処理の場合には0～76.7%となり、クローンにより発根率に大きな差が認められた。また、ほとんどの個体で、IBA処理によって発根率が向上する効果が認められた。一方、6クローンで採穂位置による発根率を比較したところ、採穂部位の違いによる発根率の大きな差は認められなかった。以上の結果から、発根率の高い個体は、さし木による増殖が可能であると考えられ、整枝剪定により充実した萌芽枝を採取し、さし木時期や環境を工夫することによって発根率のさらなる向上が期待できる。

現在、九州の関係各機関においてもさし木による無性繁殖技術についての技術開発が実施されており、将来的にはさし木苗が抵抗性マツ種苗の主流を占める可能性がある。

7 今後の課題

今回選抜された17品種については新規に造成される採種園や既存の採種園改良のため、つぎ木増殖等により原種配布のためのクローン増殖を進めている。しかし、現段階では種子生産性や後代の抵抗性等が明らかになっていないため、早急に検定を進めながら普及する必要がある。また、成長性については未評価であるがクロマツ抵抗性種苗の用途が主に海岸防災林等、環境緑化樹であり、将来的にもこの傾向は続くものと予想されていることから、不都合は特にないものと考えられる。一方、さし木発根性は加齢による発根率の低下が考えられるため、これを技術開発で克服することが必要である。今回追加選抜によってクロマツのマツノザイセンチュウ抵抗性品種は合計33品種となったが、採種園の改良のためには少なくとも50～60程度は必要であり、さらに20～30程度を開発する必要がある。今回の採種母樹選抜地と異なる地域から採種を行い、同様の選抜方法により検定を進めている。

Abstract : Sixteen Japanese black pines, *Pinus thunbergii*, resistant to pine wilt disease have already been selected in a project. However, since further black pine resistant to pine wilt disease were needed for the maintenance of seed orchard, another project started in 1995 to select the pines from open pollinated families in the field. The first procedure was the selection of 102 candidate trees from 4 sites in Kyushu area. Collected seeds from each tree were planted in a nursery and, after the 2-year, the seedlings were transplanted. The primary screening test, the inoculation of 5,000 nematodes to each second year-old seedling and also 10,000 nematodes to each survived third year-old seedling, were conducted in the summer of 1997 and 1998, respectively. Sixty-seven trees were selected as candidates from the primary screening test and then propagated by grafting in the spring of 1999. The secondary screening test, the inoculation 10,000 nematodes to each grafted tree was conducted in the summer of 2000. After that, the resistant level of the candidates to pine wilt disease was compared with that of the open pollinated families of 13 resistant clones selected in the former project based on 'the enforcement method of breeding project for resistance to pine wilt disease in Tohoku and other region' and 17 black pine clones were determined as resistant by the conference 'the forest tree breeding promotion conference in Kyushu area'.

引用文献

- 1) 平吉 功・林 石根：三河東南部におけるアイグロマツ集団の分布，日林講72，220-224 (1961)
- 2) 岡村政則・戸田忠雄：クロマツ実生家系からのマツノザイセンチュウ抵抗性個体の選抜 (IV) －実生家系から選抜された個体のクローン検定－，九州森林研究55，151-152 (2002)
- 3) 戸田忠雄・田島正啓・西村慶二・竹内寛興：九州地方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－，林育研報11，37-88 (1993)
- 4) 戸田忠雄・宮田増男・竹内寛興・園田一夫・羽野幹雄：クロマツ実生後代からの抵抗性個体の選抜，九育年報九州地方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－，九育年報24，67-68 (1998)
- 5) 戸田忠雄・竹内寛興・宮田増男・園田一夫：球果を採取した母樹の2，3の形質の地域間差，日林九支研論51，49-50 (1998)
- 6) 戸田忠雄・竹内寛興・千吉良 治・山野邊 太郎・栗延 晋：宮田増男：クロマツ実生後代からの抵抗性個体の選抜 (II)，日林九支研論52，41-42 (1999)
- 7) 戸田忠夫：戸田忠雄 (2004) アカマツおよびクロマツのマツ材線虫抵抗性育種に関する研究，林育研報20，83-217 (2004)
- 8) 渡邊敦史・白石 進・川瀬英治・戸田忠雄・那須 孝：DNA分子マーカーによるアカクロマツ (*Pinus × densi-thunbergii*) のゲノム解析 －その雑種性の検証－，日林誌78，293-300 (1996)

「林木育種センター研究報告 No.22」正誤表

ページ	行	誤	正
目次	12	渡辺 敦史	渡邊 敦史
35	3	戸田忠雄 ⁽¹⁾	戸田忠雄 ⁽²⁾
35	5	Yoshitake Fujisawa and Tadao Toda	Yoshitake Fujisawa ⁽¹⁾ and Tadao Toda ⁽²⁾
35	欄外	(未記入)	(2)日中協力林木育種科学技術センター計画 (安徽省松材線虫抵抗性育種センター担当) <u>The Japan-China Cooperation Science and Technology Center</u> <u>forest Tree Improvement Project</u>
51	3	渡辺敦史	渡邊敦史
60	下から6	渡辺敦史	渡邊敦史
214	下から5	河野楯蔵	河野楯蔵
巻末「論文審査者」	2	宇都宮大学農学部 附属演習林	宇都宮大学農学部附属演習林助教授
同上	6	北海道立林業試験場林業経営部	北海道立林業試験場 林業経営部 主任研究員
同上	6	Makoto Kuromaru	Dr.Makoto Kuromaru
同上	9～10	東北大学大学院農学研究科附属 複合生態フィールド教育研究センター	東北大学大学院農学研究科 附属複合生態フィールド教育研究センター 生物共生科学研究室助教授
同上	13	(未記入)	日本森林技術協会 北海道事務所 主任研究員
同上	13	Tsugio Ohshima	Mr.Tsugio Ohshima