

徳山試験地に植栽されているアカ・クロマツ 数系統のマツ枯れ被害について

中井 勇・秋田 豊・北川新太郎・山本 俊明

はじめに

京都大学農学部附属演習林徳山試験地（徳山市徳山鉢窪769）では、瀬戸内・中国地方の痩悪林地におけるマツ属の育種研究を進めるため、山口県下で選抜されたマツ数系統の精英樹から種子を集めて養苗し、1973年に植栽し育てている。しかし、1979年頃からマツ枯れ被害が発生し始め、1992年末までに植栽木の約半数が枯損し、一部の系統では全滅に近い状況となっている。こうした事態から、当初計画されたマツ属の育種を目的とした材料の育成が困難となり、研究は残念せざるを得ない現状である。

マツ枯れ被害は全国各地に蔓延し、選抜したマツ数系統の母樹が生育している地域にあってもマツ枯れ被害は免れていない。徳山試験地では1979年以前に天然生アカマツ (*Pinus densiflora* S. et Z.) の大部分がマツ枯れによって枯損し、これらの被害木は伐採、薬剤処理され、さらに植栽されたマツ林分で発生したマツ枯れ被害木はすべて林外に搬出、焼却されている。このことからマツ枯れの発生源であるマツノマダラカミキリ (*Monochamus alternatus* HOPE) の繁殖材はこの林分には残存しないにもかかわらず毎年生存木の10%程度が枯損している。これには林分周辺でのマツ枯れによる枯損材からのマツノマダラカミキリの羽化、飛来によって発生したものと考えられる。

本報告では植栽育成しているマツ林の系統間でマツ枯れの発生に違いがみられたことから、1979年以後のマツ枯れ被害の推移を系統別に整理し、マツ枯れに対する抵抗性について取りまとめた。

報告に先立ち、調査方法や取りまとめに終始有益な助言を賜った本学演習林の古野東洲助教授、本学生物学教室の二井一禎博士に対して謝意を表し、本植栽林分の育成、管理に努力された徳山試験地に在職された歴代の教職員に対してお礼申し上げる。

育成しているマツの系統

瀬戸内の痩悪林地には多くのマツが天然分布しているが、その生育はあまり良くない。そのため、徳山試験地では山口県内で選ばれた精英樹から種子を採取し、同一場所で育成しながら、それらの生育上の特性を育種学的に明らかにすることを目的として設定した。

集められたマツは表-1のように、山口県が指定した4系統のアカマツと4系統のクロマツ (*P. thunbergii* PARL.), この他に防府市街の大道からの1系統と試験地内での天然生のマツ10本, 試験地周辺地域から1本, 鳥取県の大山マツを加えた合計21系統である。

それぞれの母樹の所在地は図-1に示すとおり, 海岸地域からはクロマツ系統が, 内陸地域からはアカマツ系統となっている。試験地及びその周辺地域からの個体は外部形態からアカマツ, クロマツやアイグロマツに分類される(表-1)。

マツ属の種の分類は種のもつ形態的特性によるが, 分類には変異の少ない質的形質, とくに針葉横断面における樹脂導の位置が有効である^{1,2)}。クロマツは針葉横断面の葉肉部分に位置する中位型, アカマツは下表皮細胞に接する外位型である。自然状態では一般にクロマツは海岸地域に, またアカマツは内陸地域に分布しているが, その中間タイプが多く, 厳密には純粹のクロマツ, アカマツの存在は極めて少ない。そのため, 樹脂導の位置から中間タイプのマツを両者への偏りの程度を調べて系統を位置付けてマツ枯れの被害を論じる場合がある。

本調査林分の数系統ごとに1個体を選び樹冠の任意な部分から30針葉を採取し, それぞれの横断面に発現する樹脂導の位置を調べ, 主樹脂導, 副樹脂導を合わせた中位率として表-1に整理した。

樹脂導は2個の主樹脂導と数個の副樹脂導からなるが, 副樹脂導は若齢にあっては発現が少なく, 樹齢15年頃から種固有の数が発現し安定する²⁾。一般にクロマツ系はその発現数がアカマツ

表-1. 植栽されているマツの採種母樹の生育場所および特性

番号	系	統	生育場所 採種年度	設定年度	樹 齢	樹 高 (m)	胸高直径 (cm)	樹脂導配置 中位率(%)**
1	クロマツ	大島6号	山口県大島郡東和	1960.9	54	26	42	100
2	クロマツ	下関4号	山口県下関市伊倉	1960.9	57	30	51	100
3	クロマツ	吉敷3号	山口県吉敷郡秋穂	1959.3	48	25	36	100
4	クロマツ	光1号	山口県光市室積	1960.9	58	20	39	100
5	アカマツ	阿武2号	山口県阿武郡東	1959.3	40	26	44	6.94
6	アカマツ	玖珂6号	山口県玖珂郡美和	1959.3	39	24	42	2.62
7	アカマツ	美祢4号	山口県美祢伊佐	1959.3	35	29	19	2.94
8	アカマツ	熊毛4号	山口県熊毛郡大和	1958.3	40	28	39	0
9	アカマツ	大道	山口県防府市	1970.10*	-	-	-	0
10	アカマツ	大山1号	鳥取県日野郡溝口	1970.10*	28	20	29	0.79
11	クロマツ	徳試231号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	15	32	100
12	クロマツ	徳試232号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	15	32	100
13	クロマツ	徳試236号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	19	41	100
14	クロマツ	徳試241号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	20	45	100
15	アイグロマツ	徳試239号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	16	29	96.6
16	アイグロマツ	徳試235号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	17	32	2.04
17	アカマツ	徳試234号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	17	32	44.3
18	アカマツ	徳試237号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	17	32	4.73
19	アカマツ	徳試240号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	17	34	3.22
20	アカマツ	徳試238号	山口県徳山鉢窪	1970.10*	37	19	32	2.55
21	アカマツ	久米1号	山口県徳山久米	1970.10*	-	-	-	100

* 種子採取年度を示す。大道および久米1号の母樹の大きさなどは不明。

** 今回の調査に基づく針葉横断面における樹脂導の中位率。

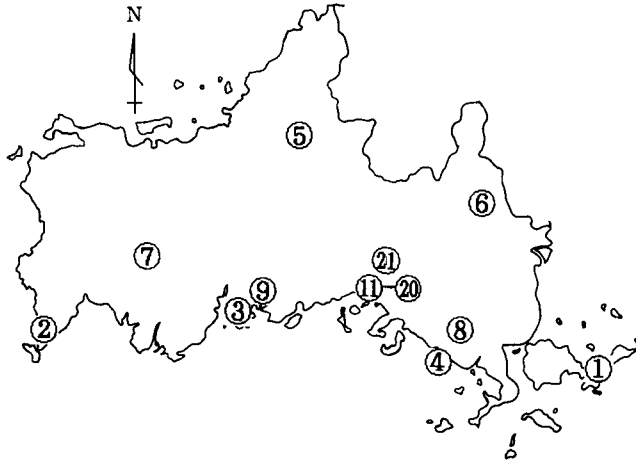


図-1. 集められた各系統の母樹の所在地

系に比べて少ない傾向にある^{1,2)}。

樹脂導の発現位置に関して、中間タイプの種は主樹脂導が中位型であっても副樹脂導が外位型に発現する場合や主、副樹脂導が中、外位に位置する。この他に下表皮細胞と樹脂導の保護鞘細胞を連絡する細胞の存在するタイプがある^{3,4,5)}。

樹脂導の配置による系統の位置付けを中位率として求め、この値が大きい程クロマツタイプである(表-1)。ただし、この値はすべての樹脂導に対する中位型の数との割合として求め、中、外位のどちらにも明瞭に分けられないものについては、古野ら⁶⁾のように0.5を与えた値として整理した。

調査した結果は図-2に示すように、中位率0%及びそれに近い値をもつアカマツでは平均の

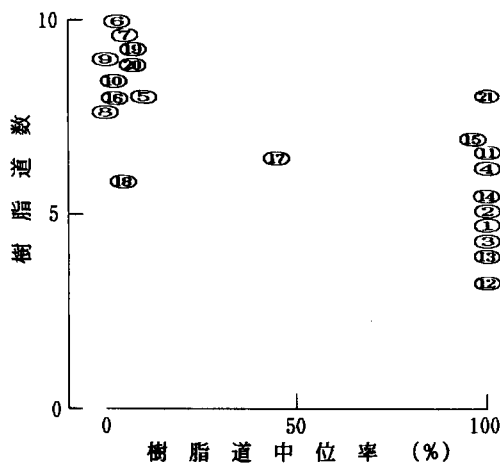


図-2 各系統ごとのマツの針葉横断面における樹脂導の中位率と平均樹脂道数(中位率が重複するため幅をもってプロットされている。0%はアカマツ、100%はクロマツ)。

樹脂導数が8~10個に集中し、中位率100%及びその値に近いクロマツでは3~8個の範囲にある。また、中位率44%の中間タイプのもは6個程度であり、クロマツに比べてアカマツが多いという従来の結果^{2,4)}と一致している。アカマツタイプのマツは玖珂6号⑥、大道⑨、美祢4号⑦、熊毛1号⑧、大山1号⑩に加えて徳試240号⑱、徳試235号⑲、徳試238号⑳、クロマツタイプのマツは下関4号㉑、大島6号①、吉敷3号③、徳試241号⑲、徳試236号⑲、徳試232号⑳と考えられる。この他の徳試237号㉒はやや副樹脂導が少なく、阿武2号⑤は樹脂導率がややたく、久米1号㉑、光1号④、徳試239号⑲、徳試231号⑲などでは副樹脂導がやや多く、本調査での明らかな中間タイプ(アイグロ)は徳試234号⑲だけであった。また、種の分類上の特性として下表皮細胞の層数^{3,4)}は、ここで分類したアカマツ系統では一層、クロマツ系統では二層が確認された。表-1には設定当初の系統名をそのまま用い、今回の樹脂導調査で得られた中位率を併記し種ごとの特性とした。

調査林分の林況

集められた各系統のマツは、1972年に当試験地の2林班の天然林(アカマツが主体)を伐り開き、4,000本/haとして1973、1974年に植栽された。面積は約2haであるが、これを分割してAとBに区画し、斜面下部から上部に向かって数列に方形状に植栽されている。植栽地は東斜面の傾斜25度あまりの場所で、標高は230mから286mの範囲である(図-3)。林床の植生はゴンズイ(*Euscaphis japonica* KANITZC)、イヌビワ(*Ficus erecta* THUNB.), ヤマウルシ(*Rhus trichocarpa* MIQ.), マンリョウ(*Ardisia crenata* SIMS), フユイチゴ(*Rubus crataegifolius* BUNGE), シャシャンボ(*Vaccinium bracteatum* THUNB.), ヒサカキ(*Eurya japonica* THUNB.)

などであるが、毎年一回の下刈りによって繁茂することはない。ただし、植栽当時にはクズの繁茂が著しく、手入れ不足による枯損被害が現れたこともあった。

植栽地の地質は古生層に属し、基岩は緑色片岩で土壌の水分や肥沃度は斜面下部が優れているようである。年間の降水量は1,915mm、年平均気温は15℃で、降雪は例年みられるが積雪することはない。

調査方法

本調査は、1979年に各系統ごとの成立位置や枯損本数などを調査したB区画について、その後の枯損状況を追跡調査したものであるが、併せてA区画についての枯損状況も取りまとめた。調査は毎年12月に行われたものであり、いわゆる持ち越し枯れについては次年度の12月に合算された値となっている。したがって被害本数の精度には若干問題は残るが、持ち越し枯れは全体の数

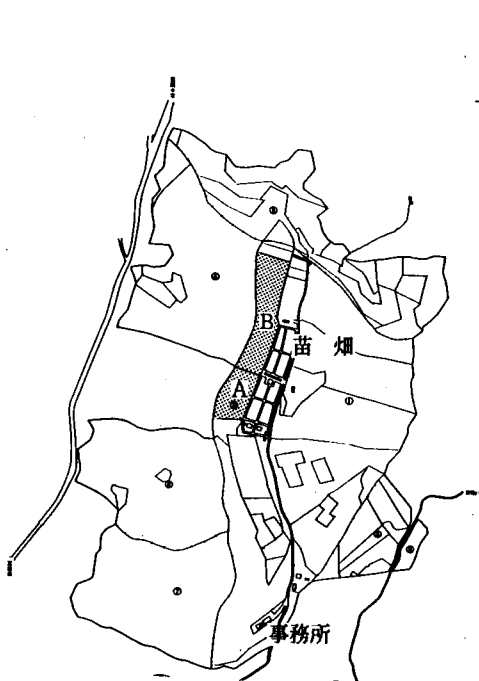


図-3. 調査対象林分の位置

％であることから大きな違いはないものとして取り扱った。さらに、1993年度のマツノマダラカミキリの羽化脱出消長を調べるために、1992年のマツノマダラカミキリ繁殖材（長さ 88.9 ± 35 cm, 中央直径 10.2 ± 4.2 cm）を用い、2 mの立方枠に防虫網を張ったケージ内に67本集積した。羽化脱出調査は5月下旬から8月下旬まで毎日行った。捕獲したマツノマダラカミキリはそれぞれの個体ごとに保持センチウ（マツノサイセンチウ, *Bursaphelenchus xylophilus* STEINER & BUHRER）数を調べた。この調査は単年度の結果であるため今回の参考資料とした。

結果及び考察

各系統のマツが植栽されている2林班のB区画については、1979年に各系統別に成立本数や個体の位置図が作成されているので、その後のマツ枯れ本数や台風などによる被害の経過を追跡することができる。A区画については1979年以後の系統ごとの被害本数は業務上の被害報告の図面から推測する方法をとった。整理した1979年以後の被害本数の推移を表-2に示した。B区画についてみると、植栽後約16%が1979年までに自然枯損している。この地域はとくにクズの繁茂が著しいため、手入れ不足などの原因によるものと推察される。植栽初期に最も多く被害を受けたものは徳試232号、美祢4号の40%前後、被害の10%以下のものは吉敷4号、大道、大山1号、徳試231号、下関4号、玖珂6号、阿武2号、久米1号であった。

1979年から1992年までのマツ枯れ被害は各系統での植栽本数や1979年現在の成立本数にかなりの開きがあるため同じレベルでの比較は難しい。そこで1979年の時点で成立本数100本以上の系統間を比較すると、被害率は36%から74%の範囲で、最も被害率の高かった系統は下関4号、大山1号の約70%、被害率の低かった系統は徳試241号、徳試236号であった。また、成立本数の少なかった系統では徳試234号、美祢4号、徳試235号の被害が約75%であった。A区画ではマツ枯れ被害木と台風被害木を合わせた本数を1979年現在の成立本数として1979年から1992年までのマツ枯れ被害率とすると、B区画に比べてやや低い傾向にあった。この区画にはB区画に植栽されている6系統があり、両区画でのマツ枯れ被害率を比べてみると、差のある系統は徳試232号の32%、徳試235号、大道は約20%でB区画より低い被害であった。その他の4系統の差は10%程度で低かった。とくにB区域でマツ枯れ被害の少なかった徳試241号はA区画でも34%と低く、植栽場所の違いに関係なく調査系統の中では抵抗性を発揮している。

各系統の1979年以後1992年までの累積被害率を図-4に示した。図-4Aには山口県が指定した精英樹を、図-4Bには徳山試験地内と試験地付近で選んだ系統を示した。両図から1981年までは全体的に被害率20%までで、その後1985年まではほとんど被害が発生しておらず横這いを辿り、1986年以後1992年には急速に被害が発生している。初期被害の多かった系統は両図から玖珂6号、大道、大山1号、徳試234号、徳試232号、徳試240号、徳試231号であり、クロマツ系統が2種、アカマツ系統が3種、中間系統が1種、他はアカマツに近い系統であった。被害の比較的少なかった系統は下関4号、吉敷3号、大島6号、阿武2号、徳試241号、徳試235号、徳試236号、久米1号で、クロマツ系統6種とアカマツに近い中間系統が1種であった。

一般に、マツ枯れ被害はクロマツ系統がアカマツ系統に比べて多いとされている⁷⁾が、本調査林分では被害の初期段階においてはややクロマツ系統の方が抵抗性を示す結果となっている。さらに、被害が急速に発生し始めた1986年には美祢4号、下関4号、徳試231号、久米1号、徳試234号は被害発生率が高く、これらは美祢4号、徳試234号を除きクロマツ系統である。1992年までの総被害の中で高い被害率（50%以上）を示している系統は、下関4号、大山1号、美祢4号、大道、徳試234号、徳試235号、徳試232号、久米1号、徳試231号で、これら以外の系統（50%以

表-2. マツ枯れの経年推移

区 画	番 号	系 統	植栽 生存*		マ ツ 枯 れ 本 数													生存	台風	マツ枯れ			
			本数	本数**	'79	'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	本数	被害	本数	率	
A	4	クロマツ	光 1 号	-	233	14	8	6	1	0	3	5	7	9	7	13	1	3	12	136	8	89	39.62
	8	アカマツ	熊 毛 4 号	-	318	27	15	22	2	0	0	0	8	19	14	15	2	6	24	132	32	154	53.80
	9	アカマツ	大 道	-	493	36	20	24	2	0	0	0	14	21	14	11	7	28	36	227	53	213	48.36
	12	クロマツ	徳 試 232 号	-	280	5	3	3	1	1	2	0	14	13	17	6	2	23	10	165	15	100	37.82
	13	クロマツ	徳 試 236 号	-	473	7	4	2	0	0	2	5	32	42	16	9	3	14	30	269	38	166	38.18
	14	クロマツ	徳 試 241 号	-	575	4	2	10	1	2	3	5	27	22	8	27	12	50	16	371	15	189	33.70
	15	アイグロマツ	徳 試 239 号	-	58	2	1	4	0	0	1	0	0	1	0	3	4	1	2	29	10	19	39.31
	16	アイグロマツ	徳 試 235 号	-	141	9	5	0	0	0	1	0	4	18	9	6	1	2	8	65	13	63	49.18
	18	アカマツ	徳 試 237 号	-	65	4	2	3	0	0	1	0	0	4	2	2	1	4	4	30	8	27	46.96
	19	アカマツ	徳 試 240 号	-	151	0	0	2	0	0	0	4	0	5	7	5	12	12	4	80	20	5	38.93
20	アカマツ	徳 試 238 号	-	123	14	8	7	0	0	1	0	0	6	3	3	6	15	6	40	14	69	63.38	
B	1	クロマツ	大 島 6 号	334	293	11	2	11	0	1	0	4	4	28	14	12	17	27	13	115	34	144	55.60
	2	クロマツ	下 関 4 号	378	348	3	4	30	7	2	2	8	18	31	29	33	27	28	22	85	19	244	74.16
	3	クロマツ	吉 敷 3 号	153	146	5	1	5	0	0	0	0	5	4	5	6	12	15	8	67	13	66	49.62
	5	アカマツ	阿 武 2 号	120	117	5	1	1	2	0	0	2	5	9	6	1	2	17	5	43	18	56	56.57
	6	アカマツ	玖 珂 6 号	220	227	22	9	9	1	0	0	2	8	6	14	6	2	16	20	94	18	115	55.02
	7	アカマツ	美 祢 4 号	85	48	3	0	3	1	0	0	0	5	6	1	2	0	5	3	11	8	29	72.50
	9	アカマツ	大 山 道	240	226	14	10	3	8	0	0	4	15	13	14	8	3	30	13	61	30	135	68.88
	10	アカマツ	大 山 1 号	350	334	10	19	12	2	0	16	1	17	17	26	14	9	31	29	75	56	203	73.02
	11	クロマツ	徳 試 231 号	229	255	7	4	10	2	1	2	2	11	21	30	7	10	20	22	93	13	149	61.57
	12	クロマツ	徳 試 232 号	327	210	10	2	5	0	0	0	6	27	41	17	23	36	36	36	90	17	203	69.28
	13	クロマツ	徳 試 236 号	543	455	10	3	6	0	0	0	2	10	26	36	18	10	22	27	218	67	170	43.81
14	クロマツ	徳 試 241 号	371	315	6	0	1	1	0	0	2	8	13	8	13	16	15	17	176	39	100	36.23	
16	アイグロマツ	徳 試 235 号	90	77	0	1	1	1	0	0	1	1	4	2	6	3	10	10	15	22	40	72.73	
17	アカマツ	徳 試 234 号	90	79	5	0	4	1	0	1	1	0	8	2	5	5	8	8	16	15	48	75.00	
19	アカマツ	徳 試 240 号	240	123	6	3	3	1	0	0	1	14	6	5	3	1	8	12	50	10	63	55.75	
21	アカマツ	久 米 1 号	240	220	6	10	7	1	0	1	3	22	15	11	6	1	18	21	65	33	122	65.24	

* 1979年4月現在の生存木

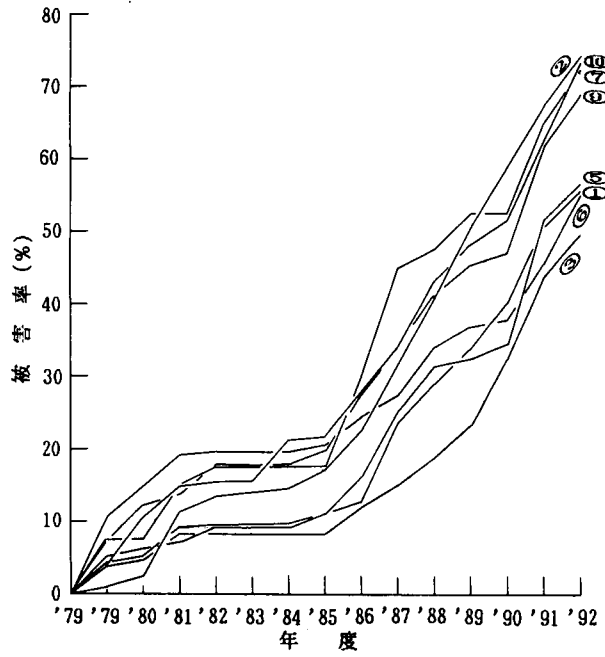


図-4 A. 山口県が指定した精英樹からの数系統のマツ枯れ推移

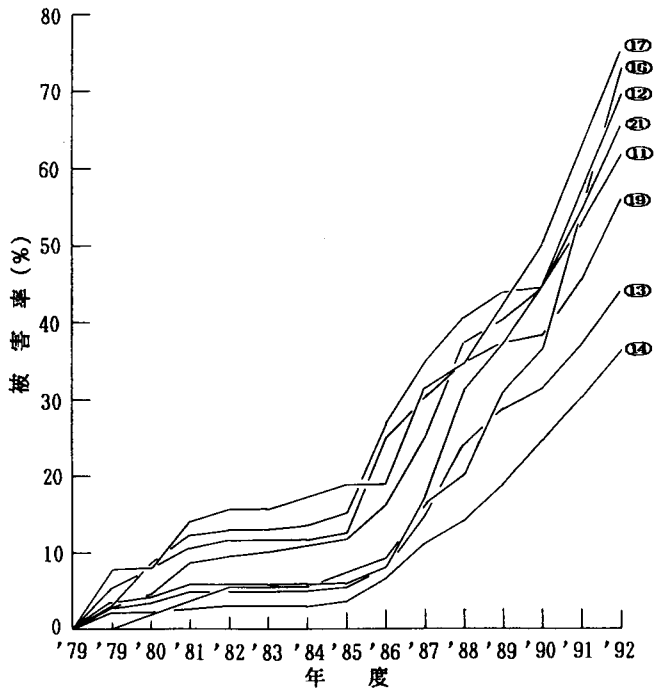


図-4 B. 試験地内の優良個体からの数系統のマツ枯れ推移



図-5. 各系統の1993年9月現在の生存木の分布

下)と大別することができる。この間の被害経過で小康状態を保った系統は美祢4号, 大山1号, 大道, 大島6号, 阿武2号, 徳試232号, 徳試240号, 徳試236号にみられるが系統とは無関係であった。

マツ枯れはマツノマダラカマキリが媒介するマツノザイセンチュウによって発生するが, マツノマダラカマキリの後食はすべての樹体が対象となっているものと考えられ, マツノマダラカマキリの保持センチュウ数は上賀茂試験地では0頭の個体が比較的多かった⁸⁾のに比べて, 徳山試験地では0頭個体がきわめて少なく, 最高63,000頭以上の個体が検出されている⁹⁾。

マツノマダラカマキリの林内密度は明きらかでないが, かなりの個体が活動している可能性が高く, しかも保持センチュウの多さから考えると, マツ枯れの連年の発生も納得される。

1992年5月現在の生存木の個体位置を示すと図-5のとおりである。先に述べた抵抗性と考えられる徳試241号は斜面上下にわたって生存している。しかし, 斜面下部で被害が多いものでも斜面上部で比較的多く残っている系統があり, 弱い系統では斜面の全面で被害を受けている。1991年9月に襲来した台風19号の被害は台風被害直前の生存個体数を基準に試算するとB区画全体で約18%となり, 系統間での差はあまり大きくなかった。そこで, 植栽地の斜面のほぼ中間を等高線に沿って上下に等分し, 現在の生存個体数を図-6に示した。多くの系統で斜面上部に多く生存しており, 全体では約倍の個体が斜面上部に生存し, その差は1%レベルで有意であった。斜面下部の残存木が上部より多かった系統は徳試240号, 徳試234号, 美祢4号であった。

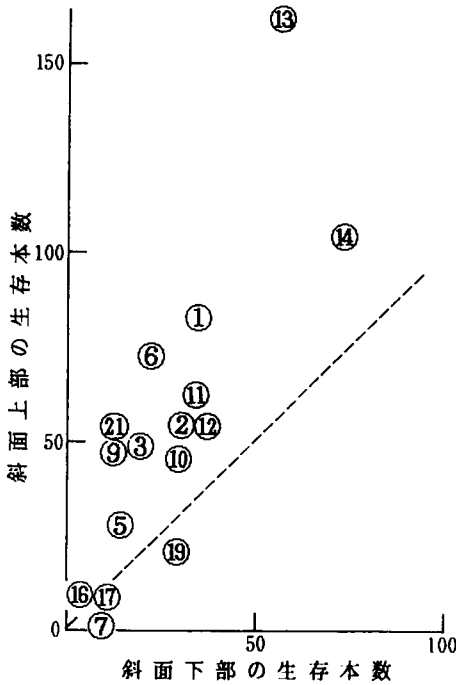


図-6. 植栽地の斜面を2分割した上部と下部の各系統の生存本数

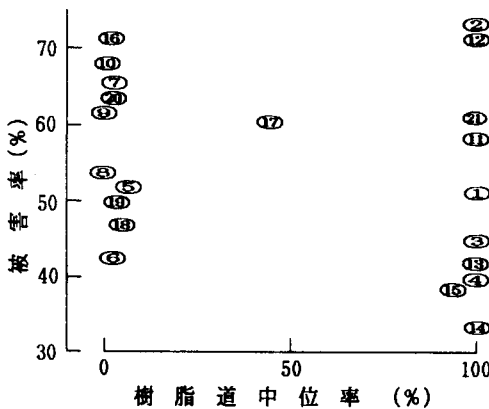


図-7. 各系統ごとのマツの針葉横断面における樹脂道の中位率とマツ枯れ被害率の関係

樹脂導の調査結果とマツ枯れ被害率との関係を図-7に示した。アカマツ系統, クロマツ系統ともに低被害から高被害がみられ, 調査した結果は, 一般にマツノザイセンチュウに対して弱抵抗性といわれているクロマツ系統が低被害を示し, アカマツ系統より強い系統もみられた。これは古野ら⁶⁾がマツ枯れ激害地の白浜試験地の天然生のマツを対象に残存木の針葉の樹脂導を調べた結果ではアカマツ系統が圧倒的に多くみられたことと異なった結果となった。

以上のように各系統間のマツ枯れ被害の経年推移について検討してきたが, 系統間では,

とくに徳山試験地内で選木した徳試241号木が強抵抗性で、反対に下関4号や徳試232号木、徳試235号、大山1号、美祢4号、徳試238号木、大道などは弱抵抗性系統であることが明きらかにされた。

おわりに

1973年に植栽された各系統のマツはすでに20年が経過し、マツ枯れ被害は植栽当時の半数以上に達し、現在もおマツ枯れ被害が進行中で、1993年度には両区画を合わせると200本以上の枯損が予測され、今後さらに枯損木の増加することは間違いない。そうした中で植栽されている系統の中からマツノサイセンチュウに対する抵抗性系統が検出されれば後継樹の育成も必要であろう。また、今後のマツ枯れ被害の推移次第では改植も考えねばならなくなるであろうが、それまでの期間のマツ枯れ発生を克明に調査することも無駄ではないと考える。その結果としてマツノサイセンチュウに対して強い抵抗性を示す系統あるいは個体が検出（残ることを期待したい）されれば今後のマツ枯れ対策にとって朗報を提供できるかも知れない。

引用文献

- 1) 金平享三(1920) 松類の葉の断面による樹種識別. 日林誌 11, 1~4.
- 2) 森川均一(1925) 赤松と黒松との中間的性質を有する松の葉の解剖学的研究. 九大農芸雑誌 2, 96~113.
- 3) 中井 勇(1988) 硬松類の種間交雑に関する研究. 学位論文
- 4) 柴田 勝(1977) アカマツ, クロマツ及びその種内交雑種に関する遺伝育種学的研究. 王子製紙株式会社 林木育種研究所 研究報告 4, 1~92.
- 5) 吉川 賢(1987) アカマツ・クロマツの雑種に関する研究(Ⅰ) 雑種性の検定方法の検討. 高知大演報 13, 7~26.
- 6) 古野東洲・大島誠一・上中幸治(1984) マツ枯れ被害地-白浜試験地における天然生アカマツ・クロマツの枯損と生存木について. 京大演報 56, 32~47.
- 7) 岸 洋一(1988) マツ材線虫病-松くい虫-精説 292pp., トーマス・カンパニー 東京
- 8) 中井 勇・二井一禎・赤井龍男(1986) マツの材線虫の感染源に関する生態学的研究(Ⅱ) -非激害型アカマツ林分におけるマツノマダラカミキリの生態と駆除方法について. 京大演報 57, 14~25.
- 9) 和田 豊・中井 勇・北川新太郎(1994) 徳山試験地におけるマツノマダラカミキリの羽化消長. 京大研報(投稿中)