

アカマツの葉ふるい病抵抗性の遺伝分析

野口常介⁽¹⁾・三上進⁽²⁾

Tsunesuke NOGUCHI and Susumu MIKAMI : Genetic Analysis of
Resistance to Needle Cast (*Lophodermium pinastri*
(SCHRAD.) CHEV.) in *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.

要旨：アカマツの葉ふるい病に対する抵抗性の遺伝的解析を行う目的で、精英樹クローンのダイアレル交配家系と採種圃産自然交配家系を用い、人工接種による強性感染と自然感染での被害の分析を行った。1) ダイアレル交配家系では、抵抗性クローンを交配親とした家系が罹病性間の家系よりも発病時期が遅く、被害が軽かった。自然交配家系での被害は親クローンの抵抗性と関連し、抵抗性クローンの家系で被害が軽かった。また、人工接種と自然感染による被害とは正の相関がみられた。2) ダイアレル交配家系での被害分析では全変動にたいする家系間変動の寄与率が大きいの。さらに、家系ごとの罹病指数の度数分布が連続的であることから、抵抗性は複数遺伝子支配によるものと推定された。3) ダイアレル交配家系での遺伝分析から、抵抗性遺伝子の作用効果として相加的効果と優性効果が認められた。しかし、優性効果は相加的効果よりも小さく、不完全優性と推定された。また、優性効果の発現が年により不安定なクローンもみられ、さらに、エピスタシス効果の存在についても年度で異なる結果が得られた。4) 本病に対する罹病性の遺伝率の推定値は、ダイアレル分析から推定した広義・狭義の96%および87%、自然交配家系の人工接種による分散分析から推定した93%といずれも高い値であった。なお、自然交配家系での自然感染による場合の遺伝率の推定値は36%であった。また、有効因子数は最高値でも2個以下と推定された。

I はじめに

マツの葉ふるい病 (*Lophodermium* needle cast) はマツ類を侵す重要な病害で、苗畑や幼齢造林地あるいは公園などの庭園木に発生する。森林病虫害の被害報告によると、本病による被害は古くからみられ、しばしば激害が記録されている¹³⁾。比較的近年では、幼齢造林地において1975年に350 haの被害が記録された¹⁴⁾。また、1972年と1974年には岩手県下のアカマツ苗畑で被害がみられ、両年ともその被害本数は約240万本に達し、このうち山出し不能本数はそれぞれ100万本以上であったと言われている¹⁵⁾。

本病はマツの葉ふるい病菌 (*Lophodermium pinastri* (SCHRAD.) CHEV.) の感染によって発生する。感染期は6~7月であり、感染の程度はこの期間の雨量に影響される⁸⁾。感染をうけた針葉には淡褐緑色の変色斑が現われるが、感染した当年は病徴がほとんど進行しない。しかし、翌春4月~5月に針葉が褐変し、やがて落葉する。養苗中の苗木や定植後間もない苗木で衰弱の著しいものは枯死する場合がある。落下した病葉には子のう盤 (*Hysterothecium*) が形成され、成熟した子のう胞子の形成は10月下旬から認められる。しかし、子のう胞子の形成量は翌年5月上旬から急激に増加し、胞子の放出・飛散は6月上旬~7月中旬に集中するので、この時期が感染期として最も重要視される。なお、東北地方では気象条件により子のう胞子形成の最盛期は感染の翌年7月上旬~9月下旬であり¹⁶⁾、したがって、本病の感染期も上記の時期よりやや遅くなる。

本病菌の病原性は極めて低く³⁾¹⁹⁾、発病を促がす因子として樹体内の含水量の低下³⁾や夏期の多雨と冬

1984年2月15日受理

(1) (2) 東北林木育種場

期の少雪・暖冬¹⁵⁾があげられ、環境条件による影響の大きいことが報告されている。しかしながら、林木育種事業により多くの育種母材が集植されているアカマツやクロマツの精英樹クローン集植所や採種園では、年により本病が発生しクローンによって顕著な被害を受けるものと、ほとんど罹病しないものが観察され、遺伝子型による抵抗性の違いが明らかにされるようになった⁹⁾¹⁰⁾¹²⁾。

本研究はマツの葉ふるい病にたいする抵抗性の遺伝を明らかにし、抵抗性種苗生産の基礎資料を得ることを目的に、アカマツ精英樹のダイアレル交配家系と自然交配家系を用いて人工接種試験を行った。その結果、抵抗性の遺伝率や遺伝子の作用効果など、本病にたいする抵抗性の遺伝に関して2, 3の知見が得られたので報告する。

なお、この試験の計画にあたり種々御指導と御助言をいただいた、元林業試験場東北支場保護部長佐藤邦彦博士、および、被害の判定や調査方法について御教示をいただいた、岩手県林業試験場作山 健主任研究員に厚く御礼を申し上げる。また、本試験に供した交配苗の生産と試験地の設定に尽力をいただいた東北林木育種場茶屋場 盛技官、ならびに、農林水産研究計算センターで計算業務を担当した同育種場板鼻直榮技官にたいし御礼を申し上げる。

II 材料および方法

1. 試験-1 ダイアレル交配家系における抵抗性の遺伝

1975年に東北林木育種場のアカマツ精英樹クローン集植所から、マツの葉ふるい病の被害を顕著に受ける三本木5号と白石10号、および、被害をほとんど受けない三本木4号と乙供101号の4クローンを選び、総当り交配を実施した。

1977年にまき付けたこれら16交配家系の苗木を、翌年4月に東北林木育種場内の葉ふるい病試験地に定植した。試験地は1交配家系を1プロット(5×10本=50本)とし、16プロットを1つの単位とした4反復区を設け、各反復区内に家系をランダムに配置した。しかし、罹病性クローンの三本木5号と白石10号の自殖家系は必要な苗木数が得られなかったため、これらは1反復区にのみ配置し、残りの反復区には同じ交配シリーズの他殖家系を割り当てた。なお、1プロットの大きさは1m×2mとし、その外側を一般事業用苗で囲った。試験開始時の各家系の植付密度はm²あたり25本であり、以後は1980年に試験が終了するまで枯損が生じても補植をしなかった。

試験地を設定した1978年の6月上旬～中旬に、各プロットに東北林木育種場内の苗畑や樹木園から集めた病落葉を敷きつめ、さらに、同年7月下旬～8月中旬までの約1か月間、感染源とした病落葉上の子のう盤の形成と子のう胞子の放出を促すため、日覆いと灌水を行った。しかし、翌1979年は自然状態で感染させることとし、特別な処理は行わなかった。

発病調査は1979年および1980年にTable 1, 2に示す区分にしたがって、前年葉を対象に針葉の退色褐変の度合と子のう盤形成の程度について行った。針葉の退色褐変の度合は両年とも5月～8月上旬までの間に定期的に4回実施し、また、子のう盤形成の程度は8月上旬に1回実施した。なお、調査は両年とも各家系の全個体を対象に行った。得られたデータは家系と環境の相互作用を検出するため分散分析を行ったほか、HAYMAN⁶⁾にしたがって分散分析を行うとともに、HAYMAN⁷⁾の理論に基づいて遺伝分析を行い、遺伝分散成分を計算して遺伝率($h_B^2 \cdot h_N^2$)や有効因子数を推定した。遺伝率は熊谷¹⁰⁾のプログラムを用い次式により推定した(式中の記号の説明はTable 7に示すとおりである)。

Table 1. 罹病苗木の量的表示と罹病指数*の算出方法
Methodology of quantitative evaluation of seedlings affected by needle cast and calculation of the disease index.

評点 Score	針葉の罹病区分	Criterion
0	針葉の褐変が全く認められない (健全)	Needles not affected
1	全針葉の10%未満が褐変したもの (微害)	Less than 10% of needles affected
2	” 約30%が ” (軽害)	About 30% of needles affected
3	” 約50%が ” (中害)	About 50% of needles affected
4	” 約70%が ” (重害)	About 70% of needles affected
5	全針葉が退色褐変したもの (激害)	No healthy needles

*: 罹病指数 Disease index = $\frac{0n_0 + 1n_1 + 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + 5n_5}{N}$; $N = n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5$

$n_0 \sim n_5$: 評点ごとの調査本数 Number of seedlings classified for each score.

Table 2. 針葉上の子のう盤形成程度の区分と子のう盤形成指数*の算出方法
Methodology of classification of hysterothecia development and calculation of its developing index.

評点 Score	子のう盤形成程度の区分	Criterion
0	全く認められない	No hysterothecia
1	褐変した針葉上に少し認められる	A few hysterothecia
2	” 多く認められる	Fair number of hysterothecia
3	” 著しく多く認められる	Abundant hysterothecia

*: 子のう盤形成指数 Hysterothecia developing index = $\frac{0n_0 + 1n_1 + 2n_2 + 3n_3}{N}$; $N = n_0 + n_1 + n_2 + n_3$

$n_0 \sim n_3$: 評点ごとの調査本数 Number of seedlings classified for each score.

$$h_B^2 = \frac{\frac{1}{2}D + \frac{1}{2}H_1 - \frac{1}{4}H_2 - \frac{1}{2}F}{\frac{1}{2}D + \frac{1}{2}H_1 - \frac{1}{4}H_2 - \frac{1}{2}F + E}$$

$$h_{N2} = \frac{\frac{1}{2}D + \frac{1}{2}H_1 - \frac{1}{2}H_2 - \frac{1}{2}F}{\frac{1}{2}D + \frac{1}{2}H_1 - \frac{1}{4}H_2 - \frac{1}{2}F + E}$$

2. 試験-2 自然交配家系における抵抗性の遺伝

採種園産アカマツ苗の本病に対する抵抗性の遺伝は、1982年に東北林木育種場内に設定した葉ふるい病抵抗性試験地（以下A試験地という）と、他の目的で1979年に同場内に設定したアカマツ精英樹家系植栽試験地（以下B試験地という）の2か所において行った。

両試験地に植栽されたアカマツ精英樹の自然交配家系は東北林木育種場内の採種園産種子から養成されたもので、A試験地には東北育種基本区東部育種区から選出された精英樹の60家系が、また、B試験地には同じく20家系が植栽されている。試験地はいずれも3反復の乱塊法で設計し、A試験地では1家系を1つの正方形プロット（5本×6本=30本）に、B試験地では1家系を1つの長方形プロット（2本×18本=36本）に植栽した。1プロットの大きさはA試験地で1.0m×1.0m、B試験地で3.4m×30.0mであり、反復区内の各家系の配置はランダムに行った。

A 試験地では1982年6月上旬～中旬に本病の感染源とするため、試験-1に示した方法と同様に病落葉を敷きつめ、同年7月下旬に灌水を行った。しかし、B 試験地では本病の感染を促す特別な処理は行っておらず、この試験地におけるマツ葉ふるい病の発生は自然感染によるものである。

発病調査は針葉の退色褐変程度について、Table 1に示す区分に従い、A 試験地では1983年6月中旬に、また、B 試験地では1982年6月中旬に実行した。なお、発病調査時における供試家系の年齢はA 試験地で2年生、B 試験地で5年生であった。

III 調査結果

1. 試験-1

1979年と1980年の調査結果をTable 3, 4に、また、両年における各家系の被害状況について罹病指数と子のう盤形成指数との関係をFig. 1に示した。

調査に供した16家系のうち罹病性クローンの三本木5号と白石10号の自殖家系(No. 33, No. 44)では、II～IV反復区で調査結果が得られなかったため、I反復区と各反復区の調査結果から回帰式を求めてそれらを推定した。両年の被害程度を比較すると、1979年に比べて1980年では多くの家系で罹病指数が小さくなり針葉の褐変程度が少なかったが、子のう盤形成指数は逆に1980年がやや大きい傾向があった。しかし、各家系の被害は両年ともほぼ似た傾向がみられ、両年の家系ごとの平均罹病指数の相関は相関係数 $r=0.842^{**}$ と非常に高く、三本木4号を雌親とした家系(No. 11～No. 14)で被害が小さく、白石10号を雌親とした家系(No. 41～No. 44)で被害が大きかった。また、各雌親内家系間でも雄親によって被害の違いがみられ、三本木4号を雄親とした家系は被害が小さく、白石10号を雄親とした家系は被害が大きかった。さらに、逆交配家系でも被害の程度が似かよっていた。なお、各家系の被害の程度は罹病指数が大きいと子のう盤形成指数も大きくなり、両者の間の相関関係は1979年で $r=0.986^{**}$ 、1980年

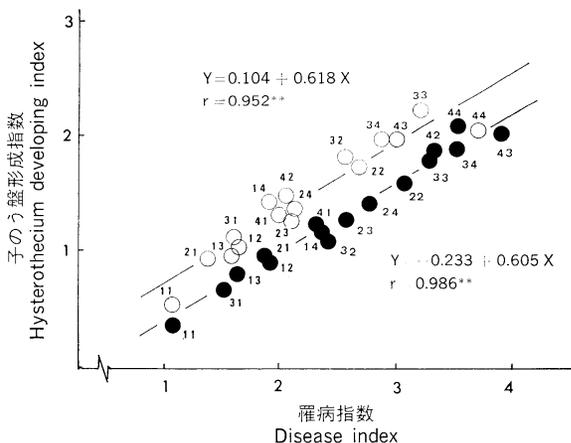


Fig. 1. 罹病指数と子のう盤形成指数との関係
Relationship between disease index and hysterothecium developing index.

● : in 1979, ○ : in 1980.

注) 番号は Table 3 に示す家系番号である。

Note : The numbers show family numbers in Table 3.

** : 1%の水準で有意。 Significant at 1% level.

で $r=0.952^{**}$ と非常に高く、両者は密接な関係があることが分かった。したがって、以下に述べる各家系の被害解析や遺伝分析にはすべて罹病指数を用いた。

Fig. 2は交配家系ごとの被害の進行経過を示したものである。針葉の褐変時期の早晩は年度と家系により、また、被害の進行速度は家系により異なっており、抵抗性クローン間あるいは抵抗性クローンを片親とした交配家系では針葉の褐変時期が遅く、かつ、その後の被害の進行も緩やかであった。これに対し、罹病性クローン間の交配家系では褐変時期が早く、かつ、被害の進行が急速であった。針葉の褐変調査は8月上旬で終了したが、その後は褐変部の拡大が認められ

Table 3. 1979年の接種検定におけるダイアレル交配家系の罹病指数及び子のう盤形成指数
Disease index and hysterothecia developing index of full-sib progenies inoculated in 1979.

No.	交配家系 Full-sib families		罹病指数 Disease index					子のう盤形成指数 Hysterothecia developing index				
	♀	♂	I	II	III	IV	Average	I	II	III	IV	Average
11	三本木 4号 Sanbongi	三本木 4号 Sanbongi	0.96	1.21	1.31	0.90	1.10	0.38	0.35	0.45	0.35	0.38
12	"	乙 供 101号 Ottomo	2.68	1.51	1.95	1.62	1.94	1.14	0.84	0.83	1.04	0.96
13	"	三本木 5号 Sanbongi	1.79	1.40	2.12	1.43	1.69	0.80	0.68	1.00	0.80	0.82
14	"	白 石 10号 Shiroishi	2.80	1.38	3.21	2.18	2.39	1.48	0.53	1.68	1.24	1.23
21	乙 供 101号 Ottomo	三本木 4号 Sanbongi	1.87	1.66	2.76	1.36	1.91	0.98	0.66	1.50	0.78	0.98
22	"	乙 供 101号 Ottomo	3.80	2.46	3.82	2.56	3.16	1.86	1.23	2.08	1.20	1.59
23	"	三本木 5号 Sanbongi	2.64	2.38	2.67	2.80	2.62	1.26	1.02	1.22	1.52	1.26
24	"	白 石 10号 Shiroishi	3.18	2.13	3.68	2.38	2.84	1.58	0.82	2.04	1.30	1.44
31	三本木 5号 Sanbongi	三本木 4号 Sanbongi	1.20	1.27	2.39	1.33	1.55	0.29	0.50	1.25	0.70	0.69
32	"	乙 供 101号 Ottomo	2.58	2.16	2.82	2.11	2.42	1.28	0.80	1.40	1.12	1.15
33	"	三本木 5号 Sanbongi	3.59	(2.69)	(3.90)	(2.89)	3.27	2.02	(1.39)	(2.19)	(1.69)	1.82
34	"	白 石 10号 Shiroishi	3.90	2.84	4.14	3.36	3.56	2.04	1.42	2.14	1.88	1.87
41	白 石 10号 Shiroishi	三本木 4号 Sanbongi	2.28	1.81	3.28	2.19	2.39	1.54	0.88	1.62	1.23	1.32
42	"	乙 供 101号 Ottomo	2.96	3.09	4.29	3.33	3.42	1.67	1.67	2.36	1.87	1.89
43	"	三本木 5号 Sanbongi	4.14	3.69	4.68	3.20	3.93	2.16	1.80	2.40	1.74	2.03
44	"	白 石 10号 Shiroishi	3.87	(2.87)	(4.15)	(3.09)	3.50	2.32	(1.58)	(2.46)	(1.90)	2.07
平均 Average			2.79	2.16	3.20	2.30	2.61	1.43	1.01	1.66	1.27	1.34

注) ()は欠測プロットであり、各数値は Block-I と各 Block との回帰式から推定したものである。

Note: Parentheses are missing plots, and the values are estimated by the regression equations of Block-II, III and IV on Block-I.

Table 4. 1980年の接種検定におけるダイアレル交配家系の罹病指数及び子のう盤形成指数
Disease index and hysterothecia developing index of full-sib progenies inoculated in 1980.

No.	交配家系 Full-sib families		罹病指数 Disease index					子のう盤形成指数 Hysterothecia developing index				
	♀	♂	I	II	III	IV	Average	I	II	III	IV	Average
11	三本木 4号 Sanbongi	三本木 4号 Sanbongi	1.20	0.96	1.04	1.13	1.08	0.70	0.54	0.46	0.58	0.57
12	"	乙 供 101号 Ottomo	1.92	1.26	1.77	1.48	1.61	1.44	0.78	0.79	1.04	1.01
13	"	三本木 5号 Sanbongi	1.45	1.46	1.72	1.84	1.62	0.76	1.07	1.14	1.42	1.10
14	"	白 石 10号 Shiroishi	2.08	1.67	2.13	1.80	1.92	1.52	1.04	1.56	1.80	1.48
21	乙 供 101号 Ottomo	三本木 4号 Sanbongi	1.36	1.30	1.44	1.44	1.39	0.72	0.92	1.00	0.94	0.90
22	"	乙 供 101号 Ottomo	3.13	2.32	2.81	2.41	2.67	2.33	1.37	1.94	1.56	1.80
23	"	三本木 5号 Sanbongi	2.19	2.17	2.08	1.52	1.99	1.62	1.28	1.36	1.14	1.35
24	"	白 石 10号 Shiroishi	2.15	1.52	2.67	1.94	2.07	1.52	1.08	1.59	1.42	1.40
31	三本木 5号 Sanbongi	三本木 4号 Sanbongi	2.32	1.07	2.00	1.18	1.64	1.78	0.61	1.43	0.72	1.14
32	"	乙 供 101号 Ottomo	2.88	2.34	2.90	2.28	2.60	2.09	1.46	2.14	1.66	1.83
33	"	三本木 5号 Sanbongi	3.84	(2.82)	(3.60)	(2.61)	3.22	2.86	(1.73)	(2.46)	(1.73)	2.20
34	"	白 石 10号 Shiroishi	3.38	2.34	3.02	2.82	2.89	1.96	1.68	2.26	2.12	2.01
41	白 石 10号 Shiroishi	三本木 4号 Sanbongi	2.04	2.02	2.76	1.43	2.06	1.50	1.18	1.88	0.90	1.37
42	"	乙 供 101号 Ottomo	2.02	1.71	2.53	1.95	2.05	1.20	1.34	1.87	1.45	1.47
43	"	三本木 5号 Sanbongi	3.49	2.83	3.39	2.07	2.95	2.63	1.85	2.12	1.40	2.00
44	"	白 石 10号 Shiroishi	4.47	(3.23)	(4.12)	(2.93)	3.69	2.55	(1.59)	(2.24)	(1.63)	2.00
平均 Average			2.50	1.94	2.50	1.93	2.22	1.70	1.22	1.64	1.34	1.48

注) () は欠測プロットであり、各数値は Block-I と各 Block との回帰式から推定したものである。

Note : Parentheses are missing plots, and the values are estimated by the regression equations of Block-II, III and IV on Block-I.

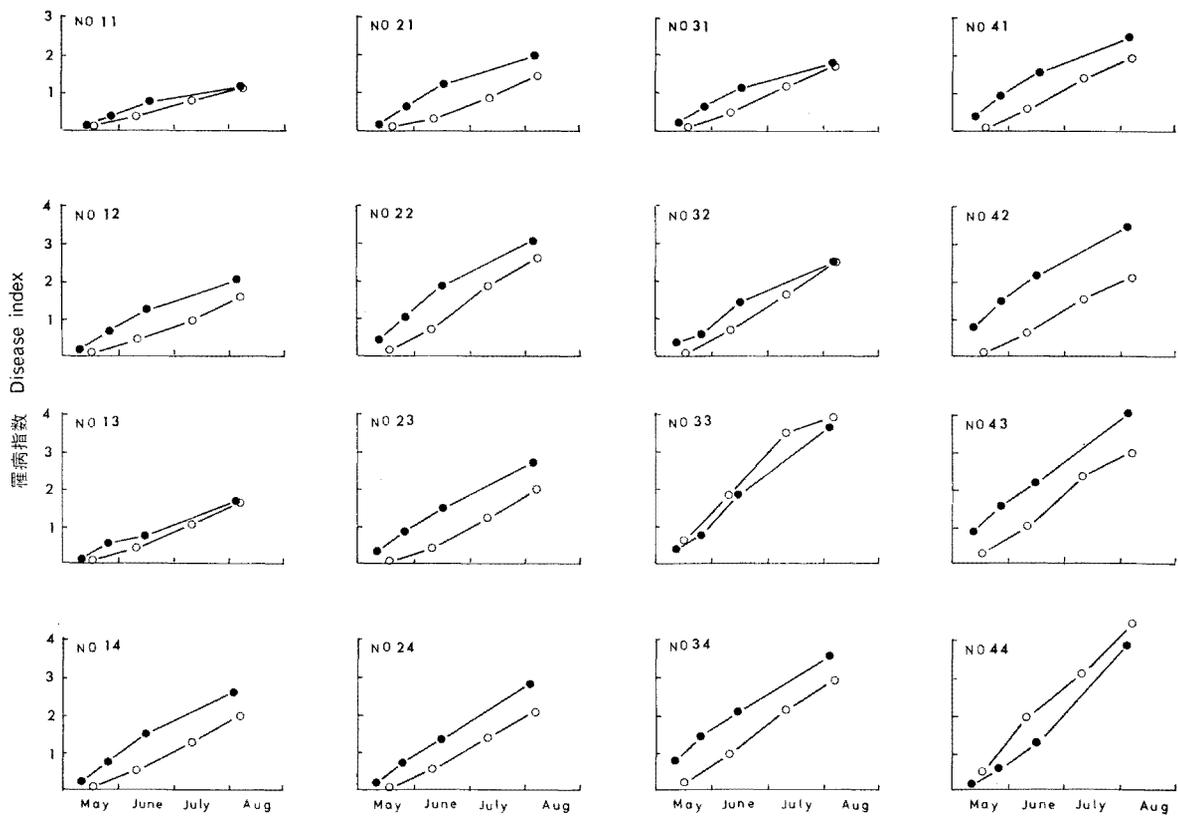


Fig. 2. 家系別調査時ごとの被害の進行
 Progress of needle cast in full-sib progenies after inoculation.

●—● : in 1979, ○—○ : in 1980.

注) 番号は Table 3 に示す家系番号である。

Note : The numbers show family numbers in Table 3.

Table 5. ダイアルレル交配家系における罹病指数の分散分析
Analysis of variance of disease index in full-sib progenies.

変 動 因 Source of variation	D. F.	S. S.	M. S.	F	寄 与 率 Rate of contribution (%)
年 度 Years	1	4,8594	4,8594	13,083*	5,7
反 復 Replicates	3	14,7250	4,9084	13,216*	14,3
年 度 反 復 Years × Replicates	3	1,1140	0,3714	5,952**	0,9
家 系 Families	15	66,0477	4,4032	11,416**	64,2
家 系 年 度 Families × Years	15	5,7861	0,3857	6,181**	4,8
家 系 反 復 Families × Replicates	45	6,0226	0,1338	2,144**	3,2
誤 差 Error	45	2,8064	0,0624		6,9
合 計 Total	127	101,3612			

*, **: 5%および1%レベルで有意差あり。 Significant at 5 and 1% level, respectively.

なかったので、被害の進行はほぼこの時期に終るものと思われる。罹病指数について最終調査時と初回調査時との相関をみると、1979年では相関係数 $r=0.733^{**}$ 、1980年では $r=0.916^{**}$ といずれも有意に高く、被害の大きさと針葉の褐変時期の早晚とは関係が深かった。

Table 5 は本試験に供した16家系の罹病指数についての分散分析結果である。分析の結果はいずれの変動因にも有意差が認められ、特に家系間変動および家系と年度や反復などの環境条件との交互作用では1%水準で有意であった。また、各変動因の実験結果にたいする寄与率をみると、家系間変動が64%と最も大きく、次いで反復間変動が14%であり、残りの変動因はいずれも5%前後、あるいはそれ以下で小さかった。

Fig. 3 は家系ごとに罹病指数の度数分布を示した。本試験は4反復で設計したので、この度数分布図は4反復の合計であらわした。ただし、必要苗木数が得られなかった三本木5号と白石10号の自殖家系(No. 33, No. 44)は1反復のみのデータを用いて分布図を作成した。家系ごとの罹病指数の分布は平均値や変異の幅などで異なっているが、分布の特性を変えるほどではなく、両年ともほぼ同じ傾向を持つ分布を示した。すなわち、抵抗性クローンである三本木4号の自殖家系(No. 11)はモードが罹病指数1であり、供試家系のなかでは最も左寄りの変異のせまい分布を示し、同じ抵抗性クローンでも乙供101号の自殖家系(No. 22)では罹病指数1~6の範囲に分布し、中央にモードを持つ左右対称の分布であった。一方、罹病性クローンである三本木5号と白石10号の自殖家系(No. 33, No. 44)はともに罹病指数3以上の範囲に分布し、白石10号の自殖家系が三本木5号にくらべやや変異の幅がせまかった。自殖家系を除いた残りの家系の度数分布はいずれも変異の幅が広く、抵抗性クローン間(No. 12, 21)→抵抗性クローンと罹病性クローン(No. 13, 14, 23, 24およびNo. 31, 32, 41, 42)→罹病性クローン間(No. 34, 43)と、抵抗性の程度が小さくなるに従い、分布のモードが罹病指数の大きい右側に片寄る傾向がみられた。

Table 6 はダイアルレル交配家系について罹病指数の組合せ能力の分散分析を行ったものである。各変動因とも反復との交互作用の平均平方の値を誤差項として有意性を検定した。その結果、1979年、1980

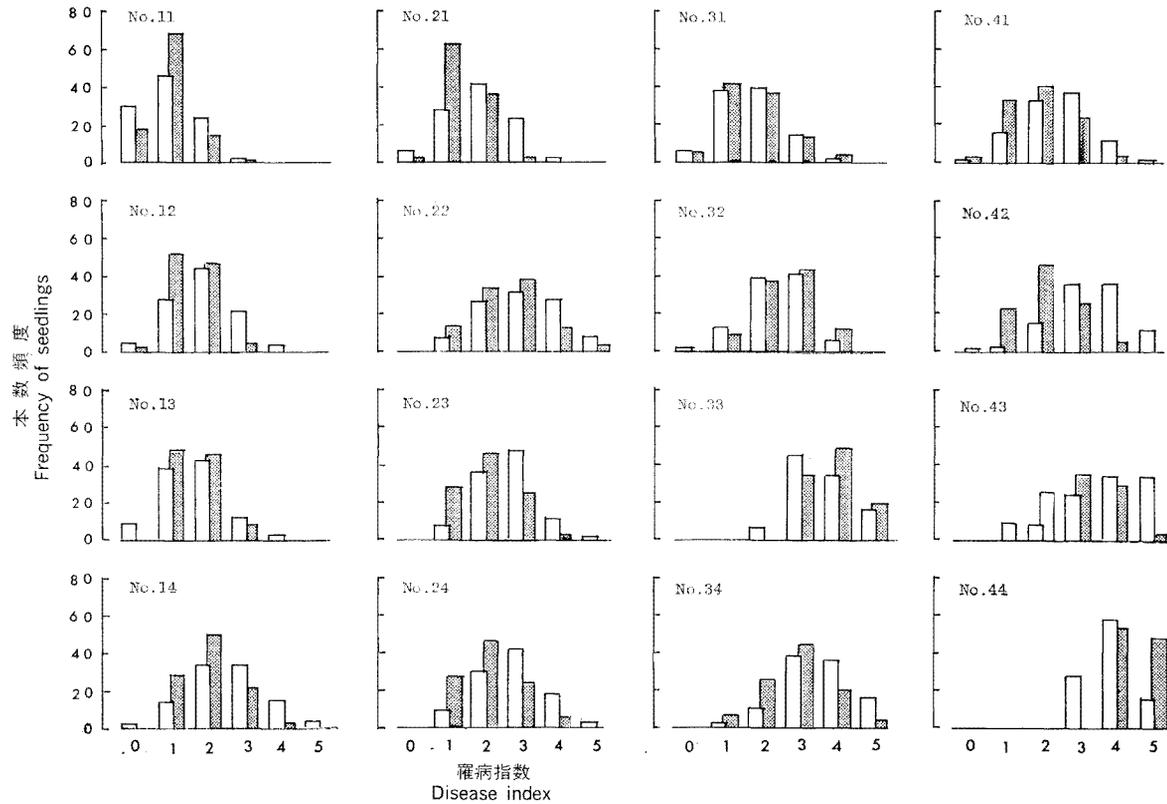


Fig.3. 各家系における罹病指数の度数分布
 Frequency distribution of disease indices for each full-sib progeny.

□ : 1979, ▨ : 1980

注) 番号は Table 3 に示す家系番号である。

Note : The numbers show family numbers in Table 3.

Table 6. ダイアレル交配家系における罹病指数の組合せ能力の分散分析
Analysis of variance for combining ability of disease index in full-sib progenies.

	D. F.	1979		1980	
		S. S.	M. S.	S. S.	M. S.
一般組合せ能力 General combining ability (a)	3	35.2109	11.7370**	23.7244	7.9081**
特定組合せ能力 Specific combining ability (b)	6	4.5746	0.7624**	6.3774	1.0629**
中間親からの F_1 の平均優性偏差 Mean dominance deviation (b ₁)	1	0.4790	0.4790	4.2990	4.2990**
中間親からの F_1 の平均優性偏差の 親間差異 (b ₂)	3	2.1539	0.8180*	0.8886	0.2962**
Further dominance deviation due to the r th parent F_1 集団固有の優性偏差 (残差) Remaining discrepancy in the r sth reciprocal sum (b ₃)	2	1.9417	0.9708*	1.1900	0.5949*
一般組合せ能力の正逆交雑の差 Differences between reciprocal crosses of general combining ability (c)	3	0.7869	0.2623	0.5180	0.1727
特定組合せ能力の正逆交雑の差 Differences between reciprocal crosses of specific combining ability (d)	3	0.2679	0.0893	0.3737	0.1246
反復 Replicates (R)	3	10.7471	3.5824**	5.0919	1.6973**
(a) × (R)	9	0.8168	0.0908	1.2135	0.1348
(b) × (R)	18	1.8874	0.1049	1.1135	0.0619
(b ₁) × (R)	3	0.1587	0.0529	0.3412	0.1137
(b ₂) × (R)	9	1.0544	0.1172	0.2694	0.0300
(b ₃) × (R)	6	0.6742	0.1124	0.5029	0.0838
(c) × (R)	9	1.2479	0.1386	0.9177	0.1020
(d) × (R)	9	0.7992	0.0888	0.8336	0.0926
合計 Total	63	56.3382		40.1636	

*, **: 5%および1%レベルで有意差あり。 Significant at 5 and 1% level, respectively.

年ともに一般組合せ能力および特定組合せ能力が著しく有意であった。しかも、特定組合せ能力は1979年では b₂ 項 (中間親から F_1 の平均優性偏差の親間差異) と b₃ 項 (各 F_1 集団固有の優性偏差) が5%水準で有意であり、1980年においては b₁ 項 (中間親から F_1 の平均的な偏差)、b₂ 項および b₃ 項の全部が有意となり、特に b₁ 項と b₂ 項は1%水準で著しく有意であった。なお、両年とも正逆交雑による差異は認められなかった。

Fig. 4 はダイアレルクロスにおいて正逆交雑をこみにした組合せごとの平均値と交雑に用いた親の値 (自殖家系の値) とを示したものであり、Table 6 の分散分析結果はこの図からもうかがうことができる。そして特に、1979年では各組合せの抵抗性が (+) 方向への超優性から (-) 方向への超優性まで、さまざまな優性効果がみられ、1980年では全部の組合せが抵抗性 (+) の方向へかたより、その程度は超優性から部分優性であった。このことが特定組合せ能力の b₁ 項の検出に影響したものであろう。さらに、組合せごとには、特に罹病性クローン間の組合せである三本木5号と白石10号で、両年の優性効果が全く正反対であった。

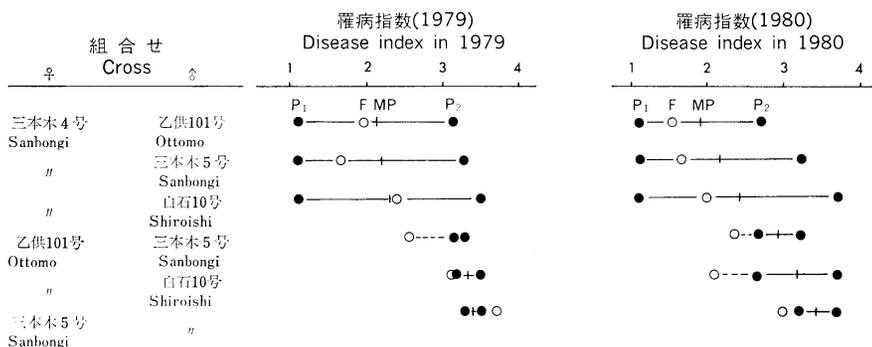


Fig. 4. ダイレル交配における交配親と各組合せの平均罹病指数
Disease indices of parent and full-sib progenies.

$P_1 \cdot P_2$: 親 (自殖系) の平均, MP: 中間親, F: 正逆交雑こみの組合せ平均
 P_1, P_2 : Mean of parent (selfed line), MP: Mid-parent
F: Mean between reciprocal crosses

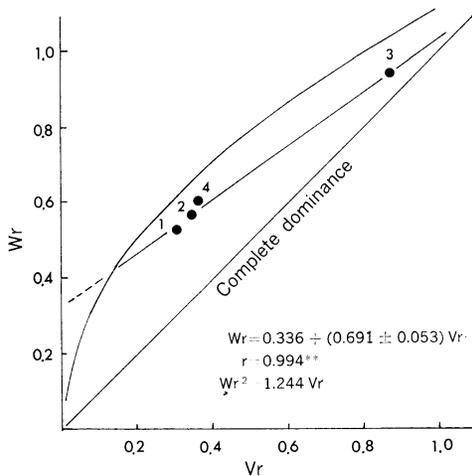


Fig. 5. 1979年における罹病指数の Vr と Wr との回帰

Regression of Wr on Vr of disease index in the diallel cross (1979).

- 1: 三本木 4号 2: 乙 供 101号
Sanbongi Ottomo
3: 三本木 5号 4: 白 石 10号
Sanbongi Shiroishi

** : 1%レベルで有意差あり。
Significant at 1% level.

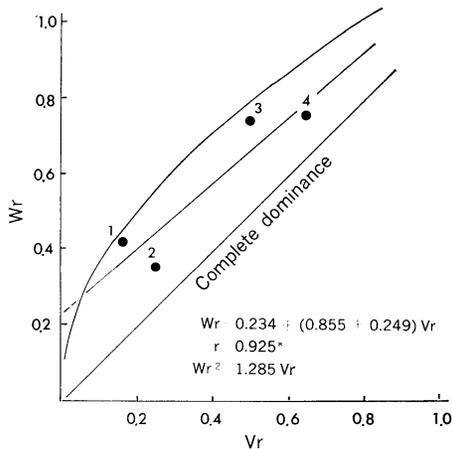


Fig. 6. 1980年における罹病指数の Vr と Wr との回帰

Regression of Wr on Vr of disease index of the diallel cross (1980).

- 1: 三本木 4号 2: 乙 供 101号
Sanbongi Ottomo
3: 三本木 5号 4: 白 石 10号
Sanbongi Shiroishi

** : 5%レベルで有意差あり。
Significant at 5% level.

Table 8. アカマツ精英樹自然交配家系, 2年生時の罹病指数
Disease indices in 2-years-old half-sib progenies.

家系 Progenies	反復 Replicates				家系 Progenies	反復 Replicates			
	I	II	III	Average		I	II	III	Average
大間 2号 Ooma	1.5	1.5	1.8	1.60	二戸 102号 Ninohe	1.7	1.7	1.7	1.70
むつ 1号 Mutsu	1.2	1.8	1.5	1.50	岩手 101号 Iwate	2.1	2.2	2.5	2.27
" 2号	1.5	1.5	1.5	1.50	" 103号	1.8	1.7	1.7	1.73
" 3号	1.6	1.6	1.5	1.57	" 104号	1.5	1.7	1.9	1.70
野辺地 1号 Nohezi	1.1	1.2	0.9	1.07	雫石 1号 Shizukuishi	1.2	1.3	1.5	1.33
" 3号	1.3	1.3	1.4	1.33	盛岡 1号 Morioka	1.6	1.7	1.7	1.67
上北 103号 Kamikita	1.0	1.4	1.4	1.27	" 101号	1.8	1.8	2.0	1.87
乙供 101号 Ottomo	1.4	1.2	1.3	1.30	" 102号	2.0	2.2	2.0	2.07
" 102号	1.8	1.6	1.5	1.63	" 103号	1.6	1.6	1.7	1.63
" 103号	1.5	1.3	1.2	1.33	宮古 4号 Miyako	1.5	1.6	1.6	1.57
" 104号	1.7	1.5	1.5	1.57	水沢 101号 Mizusawa	1.8	1.8	1.9	1.83
" 105号	1.5	1.4	1.4	1.43	" 102号	1.6	1.8	1.7	1.70
三本木 3号 Sanbongi	1.4	1.4	1.4	1.40	" 103号	1.5	1.3	1.3	1.37
" 4号	1.3	1.0	1.5	1.27	" 105号	1.3	1.4	1.4	1.37
" 5号	1.6	2.0	1.9	1.80	" 106号	1.6	2.0	1.7	1.77
" 6号	1.7	1.9	1.4	1.67	一関 7号 Ichinoseki	1.7	1.4	1.7	1.60
三戸 102号 Sannohe	1.7	1.5	1.6	1.60	" 8号	1.5	1.4	1.4	1.43
" 103号	1.7	1.9	1.5	1.70	" 10号	1.7	2.0	1.8	1.83
" 109号	2.5	2.7	2.0	2.40	東磐井 101号 Higashiiwai	0.8	0.9	0.7	0.80
" 112号	1.4	1.4	1.4	1.40	" 103号	2.1	1.5	1.5	1.70
" 113号	1.3	1.5	1.3	1.37	大船渡 5号 Oofunato	2.0	1.7	1.8	1.83
" 114号	1.6	1.5	1.6	1.57	牡鹿 101号 Ozika	1.7	1.7	1.7	1.70
八戸 101号 Hachinohe	1.1	1.2	1.3	1.20	栗原 101号 Kurihara	2.1	1.7	2.1	1.97
" 104号	1.5	1.4	1.6	1.50	中新田 101号 Nakaniida	1.5	1.5	1.4	1.47
久慈 104号 Kuzi	1.4	1.4	1.3	1.37	" 102号	1.8	1.7	1.8	1.77
九戸 101号 Kunohe	1.7	1.6	1.3	1.53	仙台 1号 Sendai	1.2	1.6	1.6	1.47
" 104号	1.6	1.7	1.7	1.67	" 2号	1.6	1.5	1.5	1.53
" 105号	1.1	1.1	1.2	1.13	" 3号	2.0	2.2	2.2	2.13
" 106号	1.3	1.3	1.3	1.30	" 4号	1.9	1.8	1.7	1.80
" 107号	1.6	1.5	1.4	1.50					
上閉伊 101号 Kamihei	0.7	0.6	0.6	0.63	平均 Average	1.56	1.57	1.56	1.57

Table 9. アカマツ精英樹自然交配家系（2年生時）の分散分析
Analysis of variance of disease index in 2-years-old
half-sib progenies.

変 動 因 Source of variation	D. F.	S. S.	M. S.	F
家 系 Progenies	59	16.1722	0.2741	12.237**
反 復 Replicates	2	0.3205	0.1603	7.156**
誤 差 Error	118	2.6428	0.0224	
合 計 Total	179	19.1400		

** : 1%レベルは有意差あり。 Significant at 1% level.

Table 10. アカマツ精英樹自然交配家系, 5年生時の罹病指数
Disease indices in 5-year-old half-sib progenies.

家 系 Progenies	反 復 Replicates				家 系 Progenies	反 復 Replicates			
	I	II	III	Aver- age		I	II	III	Aver- age
大 間 2号 Ooma	1.0	1.5	1.5	1.33	盛 岡 103号 Morioka	1.5	1.6	1.9	1.67
む つ 1号 Mutsu	1.4	1.6	1.8	1.60	水 沢 102号 Mizusawa	1.9	1.1	1.8	1.60
三 本 木 3号 Sanbongi	1.4	1.5	1.5	1.47	" 103号	1.0	1.6	1.2	1.27
" 5号	1.9	1.7	1.8	1.80	一 関 6号 Ichinoseki	1.4	1.4	1.8	1.53
三 戸 102号 Sannohe	1.3	1.5	2.1	1.63	" 101号	1.6	1.7	2.6	1.97
八 戸 104号 Hachinohe	1.3	1.6	1.3	1.30	中 新 田 102号 Nakaniida	1.8	1.4	1.7	1.63
久 慈 104号 Kuzi	1.6	1.4	1.6	1.53	仙 台 2号 Sendai	1.3	1.3	1.6	1.40
上 閉 伊 102号 Kamihei	1.2	1.7	1.8	1.57	" 4号	1.8	1.8	1.6	1.73
岩 手 3号 Iwate	1.5	1.4	1.9	1.60	白 石 10号 Shiroishi	1.9	2.1	2.4	2.13
" 102号	1.7	1.8	1.2	1.57					
盛 岡 101号 Morioka	1.6	1.9	1.6	1.70	平 均 Average	1.50	1.58	1.74	1.61

Table 11. アカマツ精英樹自然交配家系（5年生時）の分散分析
Analysis of variance of disease index in 5-years-old
half-sib progenies.

変 動 因 Source of variation	D. F.	S. S.	M. S.	F
家 系 Progenies	19	2.3506	0.1237	1.9298*
反 復 Replicates	2	0.5503	0.2752	4.2933*
誤 差 Error	38	2.4364	0.0641	
合 計 Total	59	5.3373		

* : 5%レベルで有意差あり。 Significant at 5% level.

接枝の重なりもなく、最下枝上の針葉が地表に接していた。各家系の被害程度は反復による変動が大きく、家系ごとの平均罹病指数は1.27~2.13で、家系間の違いはA試験地の2年生にくらべ小さいが、分散分析結果では精英樹家系間ならびに反復間ともに5%の水準で有意となった。被害の軽い家系として水沢102号・三本木3号が、また、重い家系として一関101号・白石10号があげられるが、家系ごとの罹病指数の標準偏差は0.70~0.94で、どの家系もほぼ同じ大きさであった。

Fig. 7はA・B両試験地の双方に植栽されている14の自然交配家系について、両試験地での被害程度の相関を示した。14家系の平均罹病指数の相関は相関係数 $r=0.736^{**}$ となり著しく有意であった。A・B両試験地には試験-1で供試材

料としたダイアル交配家系の母材となった、抵抗性の明らかな精英樹クローンの自然交配家系が植栽されている。A試験地には抵抗性である三本木4号・乙供101号および罹病性である三本木5号があり、これのうち三本木4号と乙供101号の平均罹病指数は1.27, 1.30で、供試した60家系のなかでは7・8位と被害の軽い上位グループに属した。また、罹病性である三本木5号は平均罹病指数が1.80で、60家系中50位と被害の重い下位グループに属した。一方、B試験地には罹病性である三本木5号と白石10号の自然交配家系があり、それぞれの平均罹病指数は1.80, 2.13で、供試した20家系のなかでは被害が重く18位と20位であった。なお、自然交配家系についての分散分析から本病にたいする罹病性の遺伝率を推定したところ、接種試験によるA試験地の2年生では0.931, 自然感染によるB試験地の5年生では0.355であった。

VI 考 察

林木の病害抵抗性に関する研究は、育種事業の進展に伴い各種の病害について積極的に取り組み、産地や遺伝子型による抵抗性の違いが確認されてきた。特にカラマツの落葉病や先枯病など、広域的に発生して、しばしば惨害をおよぼす発病性の強い病害では、早くから病害抵抗性が育種目標として取り上げられ抵抗性個体の選抜や検定が行われた⁴⁾¹⁸⁾²⁰⁾。しかし、林木の病害について抵抗性の遺伝に関する研究例は少ない。

本研究におけるマツの葉ふるい病にたいするダイアル交配家系での試験結果(試験-1)では、各家系の被害は年度や試験地内の反復により異なり環境の影響を無視することはできなかったが、家系の被害程度の違いは調査した両年で良く一致した。抵抗性クローンの交配家系では罹病性クローンの交配家系にくらべ被害が軽く、しかも発病時期や病徴の進行も遅く、交配家系の抵抗性の違いは環境条件よりも遺伝的な抵抗性に支配されているところが非常に大きいと考えられた。これらの結果は罹病指数についての家系

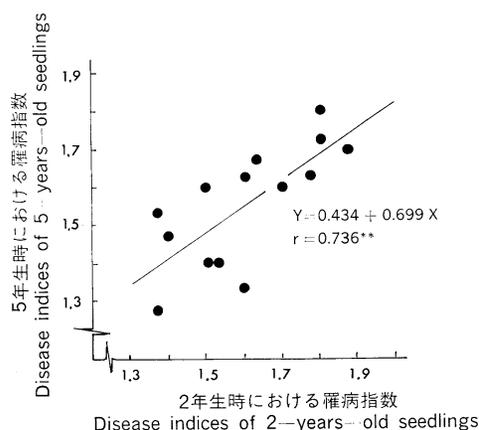


Fig. 7. 自然交配家系の2年生時と5年生時における被害の相関

Correlation of disease indices between 2-years-old and 5-years-old half-sib progenies.

** : 1%レベルで有意差あり。
Significant at 1% level.

や環境、およびそれらの交互作用の分散分析からも裏付けられた。また、同分散分析からは全変動にたいする家系内変動の寄与率が64%と大きいこと、および、ダイアレル交配家系ごとの罹病指数の度数分布からは、抵抗性が関与した家系では重害以上の個体が少なく、抵抗性の違いによる平均罹病指数の増減が認められ、さらに、どの家系も変動幅が広い連続分布を示していることなどから、本病による被害の違いは遺伝的であり、抵抗性の発現は複数遺伝子またはポリジーン支配によると推定された。

一方、精英樹クローンの採種園産自然交配家系を用いた試験結果（試験-2）では、ダイアレル交配家系での結果と同様に、試験地内の反復によって被害の違いがみられ、特に接種による強制感染にくらべ自然感染の場合で環境の影響が大きかった。しかし、罹病指数の分散分析からは、自然交配家系間に本病にたいする抵抗性の違いが認められた。しかも、自然交配家系の抵抗性は病害の発生環境や発病程度が異っても親木の持つ抵抗性に左右されており、罹病性クローンの自然交配家系ほど被害に罹りやすい種苗の割合が多いと推定された。

明石ら¹⁾はカラマツ落葉病について、既選抜の抵抗性クローンや精英樹クローンを用いた試験から、抵抗性間の交配家系もしくは片親が抵抗性である交配家系は精英樹間交配家系や精英樹の自然交配家系よりも罹病程度が低く、落葉病にたいする抵抗性は遺伝的であり、その発現はポリジーン支配によるが、関与する遺伝子座数は余り多くないと報告している。マツのすす葉枯病はマツの葉ふるい病と同様に病原性の弱い病害であり、一般に病原性の弱い病害は環境条件の変化に発病程度が左右されることから、抵抗性の確認が困難であると言われる。しかし、近藤ら⁹⁾はアカマツ精英樹クローンでの発病調査から、マツのすす葉枯病にたいする抵抗性の遺伝子型による違いを明らかにした。また、柴田¹⁷⁾はアカマツとクロマツとの人工交配 F_1 苗や天然アイグロマツのダイアレル交配家系での調査から、マツのすす葉枯病にたいする抵抗性は遺伝子支配によるものであり、抵抗性遺伝子として2個以上の同義遺伝子が関与している可能性が高いと報告している。これらの報告は林木の病害にたいする抵抗性には遺伝的要素が強く働いていることを明らかにしたものであり、カラマツ落葉病のように発病性の強い病害ばかりでなく、病原性が弱いとされている病害についても抵抗性品種の育成が可能であることを示すものである。

病害抵抗性育種を効率よく推進するためには、それぞれの病害にたいする抵抗性の遺伝分析を行い遺伝子の作用効果や遺伝率などを明らかにすることが必要である。我国の林木で病害抵抗性に関して遺伝率が推定されたものに、カラマツの落葉病¹⁾・ドロノキのサビ病⁹⁾などがあるが、遺伝子の作用効果など遺伝分析を行った報告はみあたらない。

本研究においてダイアレル分析および V_r と W_r との回帰分析の結果、マツの葉ふるい病にたいする抵抗性遺伝子の作用効果として相加的効果と優性効果が認められ、優性効果よりも相加的効果が大きく優性効果は不完全優性であると推定できた。しかし、抵抗性遺伝子の作用効果はこの両者だけで説明することができず、年により非対立遺伝子間の相互作用、すなわち、エピスタシス効果の存在が認められた。なお、正逆交雑による差異は有意でないので抵抗性の遺伝に関して細胞質効果は認められなかった。

正逆交雑をこみにして各組合せごとの優性効果をみると、罹病性クローン間の組合せである三本木5号×白石10号ではその効果が両年で著しく異なっていた。さらに、優性効果について V_r にたいする W_r の回帰分析からは抵抗性クローンである三本木4号と乙供101号で優性遺伝子を多く持つとみられたが、罹病性クローンの白石10号は両年で傾向を異にした。

東ら²⁾は水稻の葉いもち病圃場抵抗性の遺伝子の作用効果について、優性効果の有無や大小および正負

などは調査時期や調査基準のとり方によって大きく影響されると報告している。本研究では発病調査を兩年とも8月上旬で終了したが、Fig. 2が示すように調査年により被害の程度が異なった。これは環境の影響により抵抗性遺伝子の発現が抑制されたためであり、特にこの影響を白石10号が強く受けたと考えられる。また、抵抗性の評価に関しては、本研究では同一供試材料から連続して2年間データを収集したが、1年めの発病による枯損で特定の遺伝子型が減少し、2年めの家系の平均罹病指数が影響をうけることも考えられる。本病の発生が原因で枯損を生じた量は他殖家系にくらべ自殖家系に多いが、どちらの家系群でも白石10号を用いた組合せで枯損が多く、自殖家系では56.7%、他殖家系では2.0~5.3%であった。罹病性クローン間の組合せで優性の働きが調査年で異なり、これは Vr と Wr との回帰分析の結果から罹病性クローンである白石10号での優性効果の不安定さが関係しているものと考えられる。しかしこのことについてはさらに、年による発育程度の違いと抵抗性との関連、および抵抗性評価のための調査基準、特に枯損木の取扱いなどの検討が今後の課題といえよう。

Vr と Wr との回帰から1979年にはエピスタシス効果が認められ、翌年にはこの効果が認められなかった。Fig. 3のなかで自殖家系における罹病指数の度数分布がそれぞれの母材で異なり、特に抵抗性クローンである三本木4号と乙供101号でその違いが著しく、これらの母材間では抵抗性に関与する遺伝子組成の異なることが考えられる。エピスタシス効果は供試材料により認められないこともあるが、年によって変化することについては理解しにくい。抵抗性に関し遺伝子組成の明確な材料を用いて、エピスタシス分散の検定と遺伝子間の相互作用の内容について改めて検討することが必要であろう。

マツの葉ふるい病の抵抗性に関与する有効因子数は、ダイアレル分析から求めた遺伝分散成分から1979年で0.21、1980年で1.62と推定された。ここで言う有効因子数は個々の遺伝子の数ではなく染色体置換の単位である¹¹⁾。推定値は年度により違いがあり、1979年の0.21は非常に小さい値であった。これは罹病性クローンの自殖家系で一部の反復区のデータが得られないため、回帰式を用いてそれらを補正し、その代表値を用いて得たものである。この補正值の95%信頼限界内では有効因子数が変化し、その最大値は1979年で1.20、1980年では1.75であった。いずれにせよ、推定された有効因子数は2個以下であると考えられる。

マツの葉ふるい病のダイアレル分析から推定した罹病性の遺伝率は1979年・1980年ともにほとんど変わらず、広義の遺伝率で約96%前後、狭義の遺伝率で約87%前後であった。また、採種園産自然交配家系の分散分析から得た遺伝率は接種による強制感染(2年生)で93%、自然感染による5年生で36%であった。カラマツ落葉病の罹病性の遺伝率は材料によって年度間の違いが大きくみられ、抵抗性クローンの片面ダイアレルや精英樹クローンと抵抗性クローンの人工交配家系からは平均して前者で8.3%、後者で14.9%の値が得られ、さらに、精英樹クローンと精英樹の混合花粉の交配家系では58.5%、精英樹クローンの自然交配家系では4.7%であり、最高の遺伝率が得られた精英樹の混合花粉による場合でも年度間の違いが大きいことが報告されている¹²⁾。千葉ら¹³⁾はドロノキのサビ病について17個体の母材とそれらを用いた人工交配家系とで、罹病度の分散分析から広義の遺伝率を推定し、母樹クローンでは86.6%、交配家系からは69.7%の推定値を得ている。樹種や病原も異なるが、本研究で得られた罹病性の遺伝率は自然感染の場合を除いて非常に高い値が推定された。遺伝率は供試材料やその樹齢および試験設計など、多くの要因で変動することが知られている。本研究では病落葉の敷込みや胞子形成促進処理などにより接種条件が均一にされたため、高い精度で罹病性の検定を行うことができたものとする。

以上のことから本研究結果を総合すると、マツの葉ふるい病にたいする抵抗性は遺伝子支配であり、優性効果もみられるが相加的効果が大きく、しかも遺伝率が高い。したがって、本病にたいする抵抗性育種は交配による抵抗性遺伝子の取り込みと、選抜による抵抗性系統の育成が可能であると考えられる。しかし、本研究では優性効果に年度間の違いを示すクローンがあること、エピスタシス効果の存在などについては分析が不充分であることなど、今後さらに検討を行う必要がある。幸いなことに採種園産の自然交配家系では罹病指数の遺伝率が高いので、当面は採種園から罹病性の精英樹クローンを除去し、採種園産種苗の抵抗性を向上させ、本病の発生が予想される地域への種苗の供給を旨とすべきである。これらと併行して、本病の耐病性育種をさらに効率良く進展させるため、抵抗性と環境条件の相互作用や抵抗性の発現と病原菌の変異性、さらには、生長など他の有用形質との組み合わせに関する研究などを進める必要がある。

引用文献

- 1) 明石孝輝・川村忠士・佐藤 亨：カラマツ落葉病抵抗性の遺伝様式の解析，林試研報，**307**，129～151，(1979)
- 2) 東 正昭・櫛淵欽也：イネの葉いもち病圃場抵抗性の遺伝分析，育種，**28**，277～286，(1978)
- 3) 千葉 修・陳野好之：マツの葉ふるい病に関する研究，林試研報，**201**，175～197，(1967)
- 4) 千葉 修・小林享夫・林 弘子・佐藤邦彦・横沢良憲・庄司次男：カラマツ落葉病抵抗性の早期検定，木本作物の育種，37～51，(1973)
- 5) 千葉 茂・永田義明：ドロノキ交雑種の葉サビ病抵抗性の遺伝力と親子相関 84回，日林講，237～239，(1973)
- 6) HAYMAN, B. I.: The analysis of variance of diallel tables, *Biomet.*, **10**, 235～244, (1954 a)
- 7) HAYMAN, B. I.: The theory and analysis of diallel crosses, *Genet.*, **39**, 798～809, (1954 b)
- 8) 近藤秀明：マツの葉ふるい病発生程度のクローン間差異，森林防疫ニュース，**178**，6～9，(1967)
- 9) 近藤秀明・斉藤勝清・百瀬行男：マツのすす葉枯病ならびにマツの葉ふるい病発生程度のクローン間差異，森林防疫ニュース，**199**，212～219，(1968)
- 10) 熊谷甲子夫：乱塊法で実験したダイアレル交配表の分散分析と遺伝的パラメーターの推定，農林水産研究計算センター報告，**A(1)**，273～296，(1967)
- 11) MATHER, K.: *Biometrical genetics*, Methuen & Co. Ltd., London, (1949) (統計遺伝学：木原均・小島健一・末本雛子訳，岩波書店，東京，1959)
- 12) 野口常介・三上 進・茶屋場 盛・作山 健：アカマツの葉ふるい病抵抗性に関する遺伝，林木の育種，特別号，34～37，(1980)
- 13) 林野庁：昭和40年度森林病虫害等被害報告，56 pp.，(1967)
- 14) 林野庁：昭和50年度森林病虫害等被害報告，49 pp.，(1979)
- 15) 作山 健・神山安生・伊藤 巖：苗畑におけるマツ葉ふるい病の被害実態，生態及び防除，岩手林試報，**11**，9～20，(1978)
- 16) 作山 健：マツ葉ふるい病菌の子のう盤と子のう胞子の形成期，87回，日林論，283～284，(1976)
- 17) 柴田 勝：アイグロマツにおけるススハガレ病抵抗性育種，80回，日林講，215～217，(1969)
- 18) 高井省三・浜 武人・児玉武男・佐藤邦彦：カラマツ落葉病に関する調査研究，林試研報，**178**，144～158，(1965)
- 19) 山本昌木・安盛 博・周藤靖雄：マツ葉ふるい病に関する研究（第1報），日林誌，**46**，347～354，(1964)
- 20) 柳沢聡雄・真鍋忠久：カラマツ先枯病の耐病性育種（1），北海道林試支報，89～99，(1963)

**Genetic Analysis of Resistance to Needle Cast (*Lophodermium pinastri*
(SCHRAD.) CHEV.) in *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC.**

Tsunesuke NOGUCHI⁽¹⁾ and Susumu MIKAMI⁽²⁾

Summary

Needle cast of pines, caused by *Lophodermium pinastri* (SCHRAD.) CHEV., is widespread in Japan. The pathogenicity of the fungus is not strong in normally growing pine trees. However, seedlings in nurseries, young trees in plantations, and grafted trees in clone banks often are damaged seriously by the fungus. Apparently resistant or susceptible seedlings and clones are noticed also in seriously affected nurseries and clone banks.

In the study reported in this paper, the inheritance of resistance to needle cast was examined in diallel-crossed progenies among two resistant and two susceptible clones which were selected from the plus-tree clone bank of *Pinus densiflora* SIEB. et ZUCC. at the Tohoku Forest Tree Breeding Institute. Furthermore, the half-sib progenies from 20 plus-tree clones in 1982 and 60 plus-tree clones in 1983 were examined.

Controlled pollination was conducted in 1975 between all the possible combination among four clones, including selfing. The seedlots were sown in 1977, and the seedlings were transplanted in four randomized blocks, each block containing a single replicate of each progeny (16 plots, 1 plot=5×10 seedlings), in the spring of 1978. In addition, each plot was surrounded by a row of commercial seedlings. All transplant beds were covered with fallen diseased needles to a thickness of about 3 cm, soon after the seedlings were transplanted, and were sprinkled once a day for a month except on rainy days. The seedlings were infected by discharging ascospores from the hysterothecia on fallen diseased needles. The assessment of affected seedlings was made according to the criteria in Table 1 and Table 2 in 1979 and 1980.

The resistance of half-sib progenies to needle cast was examined in Experiments A and B, which were established in 1982 and 1979, respectively. Experiment A contained 60 progenies with 5×6=30 seedlings (spaced 15×20 cm) per plot and 3 blocks. All plots in the experiment were covered with fallen diseased needles and sprinkled as in the case of the full-sib progenies described above. Experiment B contained 20 progenies with 2×18=36 seedlings (spaced 1.7×1.7 m) per plot and 3 blocks. All plots in Experiment B were left for natural infection by *L. pinastri*. Assessments of affected seedlings in Experiments A and B were made in June 1983 and June 1982, according to the criteria in Table 1.

The results obtained are summarized as follows :

(1) There were distinct differences in the development of the disease between the seedlings from the resistant parents and those from the susceptible parents. In the former, the disease developed more slowly and disease indices had low values. There were no differences in reciprocal crossings. The intensity of resistance to the disease in half-sib progenies depended on the orders of resistance of female parent clones.

(2) Significant positive correlation between artificial and natural infection was recognized in the disease indices of the common 14 half-sib progenies ($r=0.736$).

(1) (2) Tohoku Forest Tree Breeding Institute

(3) Frequency distributions of disease indices were successive in all full-sib progenies. The phenomena suggest that the resistance to this needle cast is controlled by multiple genes or polygenes with additive effects.

(4) Genetic analysis of the resistance of diallel-crossed progenies indicated that the additive effects were more prevalent than the dominance effects. The dominance effects were incomplete, and varied with examined years. Opposite results on epistatic effects were recognized in 1979 and 1980.

(5) The number of effective factors ($K = h^2/H_2$) estimated in the diallel-cross analysis were 0.21 in 1979 and 1.62 in 1980.

(6) The estimates of heritability for the disease index in the diallel-cross analysis were 0.96 in the broad sense and 0.87 in the narrow sense. In the analysis of half-sib progenies artificially infected, a high heritability value (0.93) also was estimated. On the other hand, a relatively low value (0.36) was estimated in the analysis of half-sib progenies subjected to natural infection.