

アカマツ自然受粉家系の樹幹，当年枝，針葉形質 に関する変異，親子相関および遺伝率

山本千秋⁽¹⁾・白石進⁽¹⁾・横田智⁽¹⁾

Chiaki YAMAMOTO, Susumu SHIRAIISHI and Satoru YOKOTA

: Variations, Parent-Offspring Correlations and
Heritabilities on Stem Quality, Current Year
Shoot and Needle Traits in Open-Pollinated
Families of Japanese Red Pine,
Pinus densiflora SIEB. et. ZUCC.
from Iwata Experiment Plantation

要 旨：東北および関西産アカマツ天然生母樹の自然受粉種子を用いて設定された岩手県の植栽試験地で、植栽後 16 年の家系群における樹幹，当年枝および針葉の 8 形質について、産地および家系間変異，形質の親子相関および形質間相関等を検討し，反復率および遺伝率を推定した。

樹幹については，分岐，通直，根元曲りおよび幹曲りの 4 形質を調べた。産地間で比較すると，通直な個体は東北産に多く，分岐および幹曲り個体は関西産に多かった。また，東北産の通直性と関西産の幹曲り性で家系間に有意な差が認められた。家系の反復率は，両産地の分岐および東北産の根元曲りについてはゼロと推定された。しかし，通直および幹曲りについては両産地を通じて 0.45~0.63 と推定され，アカマツ集団におけるこれら 2 形質の表現型変異には，遺伝的要因に基づく変異が比較的大きく寄与していることが明らかにされた。

当年枝および針葉については，当年枝長，着葉数，針葉長および着葉密度の 4 形質を調べた。当年枝長，着葉数および針葉長は，母樹群の産地間比較で認められたと同様に，東北産に比べ関西産の平均値が著しく大きかった。これら 4 形質の家系間差異は，東北産の針葉長および着葉密度と関西産の着葉数でそれぞれ有意であったが，親子相関は両産地の 4 形質いずれも有意性は認められなかった。形質間相関では，両産地とも当年枝長と着葉数の相関がきわめて高く，母樹での結果と一致した。また，4 形質の遺伝率を分散分析と親子回帰の両方から推定したが，当年枝長，着葉数および着葉密度では，産地および推定方法でかなりばらついた。しかし，針葉長の遺伝率は 0.18~0.38 とやや安定した値をとり，この形質の表現型変異に対する遺伝的要因の寄与が，大きくはないが明確に示された。

はじめに

本報告では，東北および関西産アカマツ天然生母樹の自然受粉種子を用いて，岩手県の岩手山北面に設定した家系別植栽試験地における林齢 16 年の家系群の樹幹，当年枝，針葉形質について，産地間および家系間変異の大きさ，形質間相関，各形質の親子相関，反復率および遺伝率を検討した。

現地調査では，青森営林局，岩手営林署，東北林木育種場，林業試験場東北支場の関係者の方々にご多大のご尽力をいただいた。また，取りまとめにあたり林業試験場造林地部遺伝育種第一研究室長明石孝輝博士の助言をいただいた。これらの方々には厚くお礼を申しあげる。

1 材料と方法

本報告で用いた材料に関する詳細は前報¹⁾にゆずるが、1968 年春に植栽されたアカマツ自然受粉家系群で、産地別、ブロック別の植栽家系数は Table 1 のとおりである。現地調査および試料採取は 1983 年秋に実行したが、ブロック III の樹幹形質の調査は 1984 年春に行った。

1 樹幹形質

樹幹形質については、枯損、幹折れおよび斜立木を除き、各個体を外観により、通直、根元曲り（地上高 1 m 以内に曲りがあり、その上は通直なもの）および幹曲り（樹幹全体に一重または二重の曲りのあるもの）の 3 種類に区分した。同時に、樹幹の分岐についても有無を記録した。なお、幹曲り個体に関しては、曲りの程度により曲り小、曲り大、二重曲りの 3 段階に細分して記録したが、データの解析にはそれらの合計値を用いた。調査は、Table 1 に示すブロック I から III までの全家系、全プロットについて実施した。ブロック IV は家系数が少ないので調査対象から除外した。データの取りまとめは、プロットあたり当初植栽本数 36 本の半分 18 本以上が残存していて、かつ、ブロック I～III に共通して存在する家系について行った。該当する家系は、東北産 17 家系、関西産 12 家系であり、3 ブロックを合計した家系あたりの調査本数は東北産が 88～104 本（平均 98 本）、関西産が 63～89 本（平均 72 本）であった。

解析にあたって、データは各プロットごとの調査本数に対する樹幹の分岐、通直、根元曲りおよび幹曲りそれぞれの出現本数の割合で表したが、調査本数が少ないので次式による角変換値²⁾を用いた。

$$\theta = \frac{1}{2} \left(\arcsin \sqrt{\frac{x}{n+1}} + \arcsin \sqrt{\frac{x+1}{n+1}} \right)$$

ここで、x = 出現本数、n = 調査本数である。

2 当年枝および針葉形質

調査対象個体は、材質形質調査のために伐倒・採材した個体と同じであり、ブロック I および II の各家系から、正常に生育している個体をプロットあたり 5～10 本選定した。当年枝および針葉形

Table 1. 産地およびブロックごとの植栽家系数およびプロット数
Number of families and plots in provenances and blocks.

産地 Provenance	Block I		Block II		Block III		Block IV	
	家系数 No. of families	プロット数 No. of plots	家系数 No. of families	プロット数 No. of plots	家系数 No. of families	プロット数 No. of plots	家系数 No. of families	プロット数 No. of plots
東北産 Tohoku	29	36	22	27	18	24	16	21
関西産 Kansai	27	32	22	27	15	19	11	16
合計 Total	56	68	44	54	33	43	27	37

質を測定するために、各個体の先端から数えて3枝階目の正常に伸長している一次枝2本を採取した。この枝の先端に付いている主軸以外の当年枝を、長い方から各3本選び、合計6本(2枝×3本)の当年枝長を測定した。また、これら6本の当年枝に付いている全針葉数をそれぞれ数え、さらに、各当年枝あたり10本(合計60本)の針葉を任意に抽出して長さを測定した。これらの平均値を、各個体の当年枝長、着葉数および針葉長とし、さらに、この着葉数を当年枝長で除して得られる当年枝1cmあたりの着葉数を各個体の着葉密度とした。調査結果の取りまとめは、両ブロックに共通して存在する東北産20家系と関西産20家系について行った。2つのブロックを合計した家系あたりの調査本数は、東北産が17~20本(平均19本)、関西産が12~19本(平均15本)であった。データの解析は個体ごとの平均値およびプロット平均値を用いて行った。

なお、各形質の分散分析は、樹幹形質についてはプロットごとの出現割合の角変換値を、当年枝および針葉形質についてはプロットごとの家系平均値を、それぞれデータとしTable 2に示すように産地効果をみるために様式I、産地ごとの家系間分散を求めるために様式IIを適用して行った。なお、様式II下段のプロット内個体分散は、個体の遺伝率推定に必要な環境分散(σ_e^2)として、様式IIとは別に個体単位の値から求めた。

2 結果および考察

1 樹幹形質の家系間および産地間変異

(結果) 樹幹形質の解析に供した家系、プロット番号、個体数および分岐本数をブロック別にTable 3に同じく、通直本数、根元曲り本数および幹曲り本数をTable 4にそれぞれ示す。また、樹幹形質に関する分散分析結果を様式IについてTable 5に、様式IIについてTable 6に、それぞれ示す。

Table 5によると、樹幹に関連する4形質はいずれもブロック間に有意な差があり、また、根元曲り性を除き産地間にも大きな差があることが示されている。産地内家系間差異は、通直性および幹曲り性で1%の水準で有意であった。

産地ごとの分散分析では、東北産が、通直性、根元曲り性、幹曲り性でブロック間に有意差があり、通直性で家系間差が認められた。関西産では、根元曲り性と幹曲り性でブロック間差が、幹曲り性で家系間差がそれぞれ認められた(Table 6)。

様式Iの分散分析により統計的に有意差の認められた樹幹形質について(Table 5)、ブロックおよび産地平均値をTable 7に示す。ブロック間で比較すると、分岐性、通直性、幹曲り性については、ブロックI、II間には大差がなく、ブロックIIIのものが3形質とも不良である。根元曲り性については、ブロックIIが極端に悪い。産地間では、分岐性、通直性、幹曲り性とも、東北産に比べ関西産は明確に不良である。

(考察) 樹幹形質では、根元曲り性を除き産地間に大きな差が認められ、いずれの形質でも関西産が劣っていた。三上らりは、本報告と同一の材料で、母樹の生育地から遠く離れた場所に植栽され

Table 2. 両産地こみおよび産地ごとの分散分析表
The analysis of variance tables for two provenances. and single provenance.

	要因 Source	自由度 d.f.	平方和 Sum of squares	平均平方の期待成分 Expectation mean squares
様式(Form) I (Two provenances)	ブロック Block	b-1	$S_1 = \sum X_{1..}^2 / \sum n_j - CF$	$\sigma_p^2 + nK_B^2$
	産地 Provenance	p-1	$S_2 = \sum (X_{.j.}^2 / \sum bn_j) - CF$	$\sigma_p^2 + b\sigma_f^2 + n_0K_p^2$
	産地内家系 Family-within- provenance	$\sum n_j - p$	$S_3 = \sum (X_{..k}^2 / b) - CF - S_2$	$\sigma_p^2 + b\sigma_f^2$
	誤差 Error	$(\sum n_j - 1)(b-1)$	$S_4 = S_T - S_1 - S_2 - S_3$	σ_p^2
	全体 Total	$b\sum n_j - 1$	$S_T = \sum X_{ijk}^2 - CF$	
様式(Form) II (Single provenance)	ブロック Block	b-1	$S_1 = \sum X_{1.}^2 / f - CF'$	$\sigma_e^2 / n_h + \sigma_{fb}^2 + fK_B^2$
	家系 Family	f-1	$S_2 = \sum X_{.k}^2 / b - CF'$	$\sigma_e^2 / n_h + \sigma_{fb}^2 + b\sigma_f^2$
	誤差 Error	$(b-1)(f-1)$	$S_3 = S_T - S_1 - S_2$	$\sigma_e^2 / n_h + \sigma_{fb}^2$
	全体 Total	bf-1	$S_T = \sum X_{ik}^2 - CF'$	
	プロット内個体 Tree-within plot	$\sum n_{ik} - bf$	$\sum X_{ikm}^2 - \sum (X_{ik.}^2 / n_{ik})$	σ_e^2

Note)

X_{ijk} : i ブロックの j 産地における k 番目の家系平均値 Mean of (k) family in (j) provenance in (i) block.

n_j : j 産地の家系数 No. of families in (j) provenance.

b, p and n : ブロック数, 産地数およびブロック内家系数 [= $\sum n_j$] No. of blocks, provenances and families within block.

n_0 : 産地内家系数代表値 [= $p / \sum (1/n_j)$] Harmonic mean of the No. of families for each provenance.

K_B^2 : ブロック間分散 Between-block variance.

K_p^2 : 産地間分散 Between-provenance variance.

σ_f^2 : 家系間分散 (産地内) Family-within-provenance variance.

σ_p^2 : プロット間分散 Between-plot variance.

CF : $(\sum X_{ijk})^2 / b\sum n_j$

X_{ikm} : i ブロックの k 家系における m 番目の個体の測定値 Value of (m)th tree in (k) family in (i) block.

n_{ik} : i ブロックの k 家系における個体数 No. of trees in (k) family in (i) block.

f : 家系数 No. of families.

n_h : プロット内個体数の調和平均 [= $bf / \sum (1/n_{ik})$] Harmonic mean of the number of trees for each plot.

σ_{fb}^2 : 家系とブロックの交互作用分散 Variance due to family \times block.

CF' : $(\sum X_{ik})^2 / bf$

σ_e^2 : プロット内個体分散 ; これは様式 II とは別に個体ごとの測定値をデータとして求めた

Tree-within-plot variance ; it was calculated on the basis of the data of single trees. separately from Form-II

Table 3. 各プロットにおける樹幹分岐個体数
Number of the trees with forked stem in each plot.

家系 ¹⁾ Families	Block I			Block II			Block III		
	plot No.	調査本数 No. of trees observed	分岐本数 No. of forked trees	plot No.	調査本数 No. of trees observed	分岐本数 No. of forked trees	plot No.	調査本数 No. of trees observed	分岐本数 No. of forked trees
T- 1	17	32	0	13	30	1	35	35	0
T- 7	54	31	0	19	34	3	22	35	2
T- 8	12	32	1	29	35	1	5	34	3
T- 9	10	32	0	3	31	2	13	35	2
T-10	22	33	0	37	32	1	7	34	0
T-13	5	31	1	30	31	1	25	34	1
T-14	46	35	2	20	30	0	43	35	3
T-17	41	32	1	14	35	0	23	36	1
T-20	7	33	2	40	29	0	34	35	2
T-21	47	33	1	4	32	0	3	33	0
T-23	31	25	0	25	33	2	1	34	2
T-25	49	35	1	45	34	0	4	35	2
T-26	57	28	0	9	34	0	42	33	2
T-27	60	30	0	18	28	0	15	35	1
T-28	66	35	1	12	34	1	31	33	0
T-29	30	30	2	15	31	0	27	34	1
T-30	63	33	0	34	31	0	38	24	2
K-33	39	23	1	36	18	1	17	30	9
K-40	44	26	1	23	27	2	11	25	2
K-44	37	21	2	6	24	0	21	27	2
K-45	38	29	2	26	29	0	41	27	2
K-46	52	22	2	42	22	1	37	19	2
K-47	62	29	0	8	31	3	20	29	4
K-50	28	24	1	49	21	0	28	26	2
K-52	50	22	0	32	21	1	8	22	1
K-53	23	20	2	10	26	2	12	26	0
K-54	29	18	1	41	20	0	18	27	2
K-55	19	18	2	35	22	0	29	26	2
K-59	36	26	3	16	19	2	36	22	1

Note)

1) Tは東北産，Kは関西産

T and K stand for Tohoku and Kansai provenances, respectively.

ている関西産家系に，環境不適応によると考えられる生存率，成長の顕著な低下を認めている。岩崎⁵⁾は，本試験地に近接する岩手山の北面に設定された40年生アカマツ産地試験地で，近い産地（東北，中部地方）のものより遠い産地（中国，四国，九州地方）のものに，幹曲り木の出現率が高く成長不良なものが多い傾向を認めている。本報告における関西産家系に分岐や幹曲り木が多く出現するのも同じ理由で，生存率や成長の低下が，雑草木の侵入や雪害と相互に影響し合い，樹幹形質を劣化させていると考えられる。

Table 4. 各プロットにおける樹幹の通直, 根元曲りおよび幹曲り個体数
Number of the trees with straightness, basal crookedness and stem crookedness in each plot.

家系 Families	Block I			Block II			Block III		
	通直 本数 No. of straight trees	根元曲 り本数 No. of trees with basal crooked- ness	幹曲り 本数 No. of stem crooked trees	通直 本数 No. of straight trees	根元曲 り本数 No. of trees with basal crooked- ness	幹曲り 本数 No. of stem crooked trees	通直 本数 No. of straight trees	根元曲 り本数 No. of trees with basal crooked- ness	幹曲り 本数 No. of stem crooked trees
T- 1	4	3	25	9	2	19	7	6	22
T- 7	7	1	23	5	6	23	2	0	23
T- 8	11	4	17	8	1	26	3	1	30
T- 9	11	5	16	8	7	16	6	0	29
T- 10	7	2	24	7	2	23	5	2	27
T- 13	6	4	21	3	5	23	3	0	31
T- 14	6	6	23	4	3	23	1	1	33
T- 17	12	3	17	10	2	23	3	1	32
T- 20	6	2	25	3	2	24	6	2	27
T- 21	4	3	26	2	4	26	3	3	27
T- 23	2	2	21	7	3	23	5	2	27
T- 25	7	1	27	4	1	29	5	0	30
T- 26	0	1	27	6	3	25	4	4	25
T- 27	3	0	27	1	3	24	1	1	33
T- 28	2	0	33	2	4	28	0	2	31
T- 29	4	2	24	5	2	24	2	1	31
T- 30	10	0	23	3	11	17	2	2	20
K- 33	1	1	20	1	3	14	2	1	27
K- 40	0	3	23	5	1	21	0	0	25
K- 44	1	1	19	4	2	18	0	0	27
K- 45	3	1	25	1	0	28	1	0	26
K- 46	1	0	21	1	0	21	1	0	18
K- 47	0	0	29	0	0	31	0	1	28
K- 50	3	0	21	0	3	18	2	1	23
K- 52	4	1	17	1	7	13	1	1	20
K- 53	1	0	19	2	4	20	1	2	23
K- 54	0	2	16	0	6	14	0	0	27
K- 55	3	1	14	2	3	17	1	1	24
K- 59	2	3	21	3	3	13	1	3	18

Note)

プロットNo. および調査本数はTable 3に同じ

See Table 3 for plot No. and number of trees observed

なお、樹幹形質全体を通してみると、ブロック間差異に有意なものが多かった。(Table 5, 6)。これらの形質の特性評価が、立地条件のわずかの違いで相当変動するものであることを示している。

調査した樹幹形質の中では、東北産の通直性と関西産の幹曲り性で家系間差が有意となった (Table 6)。同一家系内で通直本数と幹曲り本数は、一方が増加すれば他方が減少する関係にある。試みに両者の負の相関を、2産地の3つのブロックそれぞれについて調べたところ、関西産のブロックII ($r = -0.474$, $d.f. = 10$)を除き他の5つのブロックで著しく有意であり、3ブロックを込みにした家系平均値でみても、両者の負の相関は両産地で著しく有意であった。しかし、両産地とも、

Table 5. 樹幹形質に関する分散分析結果(様式I)
Results of analysis of variance in four traits for stem form (Form I).

形質 Traits	要因 Source	自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F ¹⁾
分岐性 Forkedness	ブロック Block	2	135.16	4.41 *
	産地 Provenance	1	554.16	26.48 **
	産地内家系 Family-within-provenance	27	20.93	0.68
	誤差 Error	56	30.64	
通直性 Straightness	ブロック Block	2	245.40	7.73 **
	産地 Provenance	1	1417.04	19.82 **
	産地内家系 Family-within-provenance	27	71.51	2.25 **
	誤差 Error	56	31.76	
根元曲り性 Basal crookedness	ブロック Block	2	419.04	9.48 **
	産地 Provenance	1	40.68	0.78
	産地内家系 Family-within-provenance	27	52.45	1.19
	誤差 Error	56	44.18	
幹曲り性 Stem crookedness	ブロック Block	2	676.69	16.72 **
	産地 Provenance	1	1235.31	13.50 **
	産地内家系 Family-within-provenance	27	91.53	2.26 **
	誤差 Error	56	40.46	

Note)

1) **および*は1%および5%レベルの有意性

** and * refer to significance at 1 percent and 5 percent level, respectively.

Table 6. 樹幹形質に関する産地別分散分析結果(様式II)
Results of analysis of variance in four traits for stem form (Form II).

形質 Traits	要因 Source	東北産 Tohoku			関西産 Kansai		
		自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F ¹⁾	自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F
分岐性 Forked- ness	ブロック Block	2	59.11	2.31	2	95.04	2.43
	家系 Family	16	15.16	0.59	11	29.31	0.75
	誤差 Error	32	25.60		22	39.04	
通直性 Straight- ness	ブロック Block	2	195.38	6.19**	2	62.33	1.84
	家系 Family	16	78.66	2.49*	11	61.11	1.81
	誤差 Error	32	31.56		22	33.82	
根元曲り性 Basal crooked- ness	ブロック Block	2	192.25	4.17*	2	238.48	5.37*
	家系 Family	16	25.57	0.56	11	91.55	2.06
	誤差 Error	32	46.07		22	44.38	
幹曲り性 Stem crooked- ness	ブロック Block	2	364.38	8.85**	2	336.72	8.23**
	家系 Family	16	78.20	1.90	11	101.91	2.71*
	誤差 Error	32	41.17		22	40.89	

Note)

1) **および*は1%および5%レベルの有意性

** and * refer to significance at 1 percent and 5 percent level, respectively.

Table 7. 樹幹形質のブロックおよび産地平均値 (角変換値)
Block and provenance means (transformed values) in the traits for stem form.

	形 質 Traits	平 均 値 Means 良 ← (樹幹の品質) → 不良 better (Stem qualities) worse		
ブロック間の比較 Comparisons among blocks	分岐性 Forkedness	Block II (10.6)	Block I (12.1)	Block III (14.8)
	通直性 Straightness	I (21.3)	II (20.4)	III (15.9)
	根元曲り性 Basal crookedness	III (12.4)	I (14.7)	II (19.8)
	幹曲り性 Stem crookedness	II (60.8)	I (63.7)	III (70.2)
産地間の比較 ¹⁾ Comparisons between provenances	分岐性 Forkedness	東 北 (10.4) Tohoku		関 西 (15.5) Kansai
	通直性 Straightness	東 北 (22.6) Tohoku		関 西 (14.4) Kansai
	幹曲り性 Stem crookedness	東 北 (61.7) Tohoku		関 西 (69.4) Kansai

Note)

- 1) 根元曲り性については、両産地間に有意な差はなかった (Table 5).
There was no significant difference between two provenances in basal crookedness (see Table 5).

通直性と幹曲り性で家系間差がそろって有意とはなっていないので、両者のうち一方を測定すれば家系の評価が可能であるとはいきれない。

分岐性と根元曲り性については、東北、関西両産地とも、家系間に有意な差は認められなかった (Table 6)。樹幹の分岐は、遺伝的なものと、雪害や虫害などの環境要因で生じたものがあると考えられるが、今回の調査でそれらを区別することは不可能であった。環境的な要因が、家系間差を覆いかくす原因になっているかもしれない。また、曲りに関する形質は、樹齢が高くなることにより変化すると考えられるので、今後の継続調査が必要である。

2. 通直性と幹曲り性に関する親子の関係および成長形質との相関

樹幹形質については、母樹で通直 (S) および曲幹 (B) の二段階評価が行われている¹⁾²⁾。今回の各子供家系における通直性と幹曲り性は、それらの特性を示す個体の出現割合の角変換値で評価した。異なる評価方法を同列において議論することは不適當であるが、親子の関係の傾向を Fig. 1 に示す。母樹の幹曲りの有無と家系群の幹曲り性あるいは通直性の大小とに明確な関係は認められなかった。また、樹幹形質と成長形質との関連を調べるために、家系間に有意差のあった東北産の通直性と関西産の幹曲り性について、三上らの樹高および胸高直径のデータ⁴⁾を用いて相関をみた結果、相関係数は -0.02 から -0.19 で有意ではなく、成長の良否と樹幹の通直や曲りとは直接の関係は認められなかった。

3. 樹幹形質に関する家系の反復率

本報告で扱った樹幹形質に関するデータは、ある特性を持った個体の出現率の角変換値であり、プロットごとに得られる 1 つのデータに基づいて分散分析を行っているので、個体の遺伝率は求め

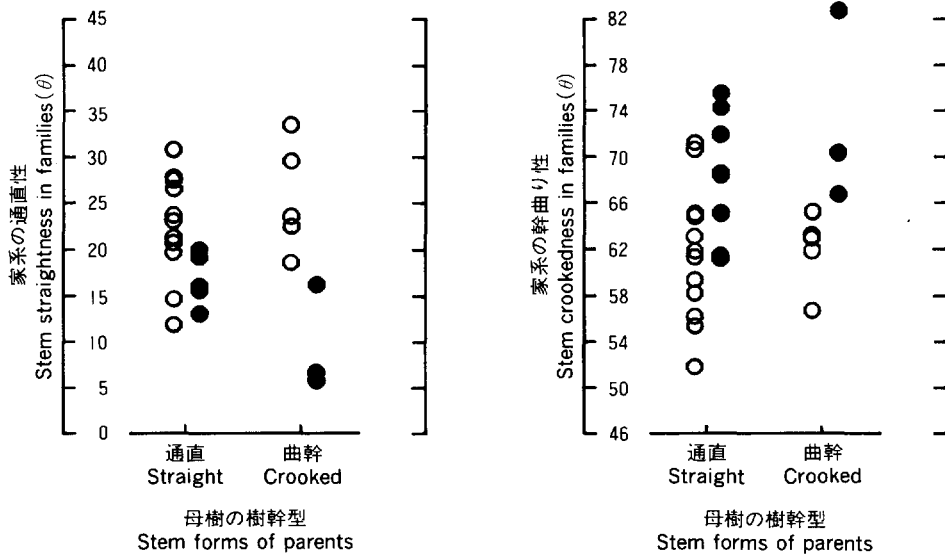


Fig. 1. 通直性および幹曲り性に関する母樹と家系の関係

Relation between parents and families in straightness and crookedness of stems.

(Note)

○ : 東北産
Tohoku provenance ● : 関西産
Kansai provenance

θ : 出現割合の角変換値 (本文参照)

Freeman-Tukey arcsine transformation for given proportions (See the text).

Table 8. 樹幹形質に関する分散成分の推定値と家系の反復率(R)

Estimates of variance components and family repeatabilities in four traits for stem form.

形質 Traits	東北産 Tohoku			関西産 Kansai		
	$\sigma_e^2/n_h + \sigma_b^2$	σ_f^2	R	$\sigma_e^2/n_h + \sigma_b^2$	σ_f^2	R
分岐性 Forked-ness	25.601	0 (-3.480)	0	39.039	0 (-3.246)	0
通直性 Straight-ness	31.562	15.700	0.60	33.816	9.098	0.45
根元 曲り性 Basal Crooked-ness	46.075	0 (-6.834)	0	44.382	15.721	0.52
幹曲り性 Stem Crooked-ness	41.169	12.345	0.47	40.893	23.339	0.63

ることができない。また、もともと有る無しで区分され不連続変異を示す計数データであり、この種のデータから分散分析による遺伝率を推定し遺伝獲得量を予測することが有効かどうか疑問である⁶⁾。しかし、実用上きわめて重要なこれらの形質の発現が、環境要因だけで決定されるわけではないことは明らかである。

そのためここでは、これらの形質の表現型変異に対し遺伝的要因による変異がどれほど寄与して

いるかを計る尺度として、家系の反復率 (R) を推定した。反復率は、Table 2 の様式 II に示す平均平方の期待成分から次の式で求めた。

$$R = \frac{\sigma_f^2}{(\sigma_e^2/n_h + \sigma_{fb}^2)/b + \sigma_f^2}$$

なお、家系間分散 (σ_f^2) が負の値を示す場合は、これを 0 と読みかえ反復率の推定値を 0 とした。結果は Table 8 に示すとおりである。Table 6 の分散分析結果から当然予測されることであるが、分岐性と根元曲り性については、家系間分散 σ_f^2 がマイナスの値を示すものが多く、関西産の根元曲り性 (R=0.52) を除き家系の反復率は 0 と推定され、通直性と幹曲り性については両産地を通じて 0.45~0.63 と比較的高い推定値が得られた。

本実験の範囲では、分岐性の表現型変異に対する遺伝的要因に基づく変異の寄与は認められず、根元曲り性については両産地で異なる結果となったが、幹の通直性や曲りに関する形質についてはその表現型変異に対する遺伝的要因の寄与が比較的大きいことが明らかにされた。

ただし、反復率 (R) の推定値は、その式から明らかなように σ_e^2 や σ_{fb}^2 、 σ_f^2 などの分散成分の値の相対的大小によって定まるものであり、平均的な推定値を得るためには、これらの形質について同様な調査事例を積み重ねていくことが必要である。

4. 当年枝および針葉形質の家系間および産地間変異

(結果) 本報告でとりあげた当年枝長、着葉数、針葉長および着葉密度のプロット平均値を、測定本数とともに供試家系別およびブロック別に Table 9 に示す。また、これらの形質の分散分析結果を、様式 I について Table 10 に、様式 II について Table 11 にそれぞれ示す。

2 産地をこみにした分散分析では、着葉密度を除き産地間に大きな差異のあることが示されている。産地内家系間では、着葉密度で 1%、針葉長で 5% の水準で有意差が認められた (Table 10)。

産地ごとの分散分析では、東北産家系の針葉長および着葉密度と、関西産家系の着葉数で、それぞれ家系間に有意差が認められた (Table 11)。

(考察) Table 11 で産地ごとにみると、東北産では 4 形質ともブロック間差に有意性は認められず、関西産でのみ着葉密度を除く 3 形質が有意であった。その理由は明確ではないが、東北産に比べ生存率や成長が劣り、分岐や幹曲りの出現率も高かった関西産のものが立地差の影響をより強く受けたのかもしれない。

当年枝長、着葉数および針葉長については、産地間差異がいずれも著しく有意であり (Table 10)、東北産に比べて関西産の平均値が大きい (当年枝長：東北 19.9 cm 関西 22.3 cm、着葉数：東北 95 本 関西 106 本、針葉長：東北 7.2 cm 関西 7.7 cm)。同じ形質について、母樹の樹冠全体の平均値をみると¹⁾²⁾、家系群と同様、東北産に比べて関西産がやや大きい値を示しており、これらの形質が産地間の差異を表現する指標になる可能性がある。

とりあげた形質の家系間差異の有意性についても、東北産と関西産では異なる傾向を示した (Table 11)。しかし、全体を通してみると、本実験の範囲では、これら形質の家系間差異は、あまり大きなものではないといえる。

Table 9. 当年枝および針葉形質のプロット平均値
Plot means in current year shoot and needle traits.

家系 ¹⁾ Family	プロット No. Plot No.		測定本数 No. of sample trees		当年枝長(cm) Current year shoot length		着葉数(本) No. of needles on a shoot		針葉長(cm) Needle length		着葉密度(本/cm) No. of needles per 1 cm length of a shoot	
	I ²⁾	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
T- 1	17	13	7	10	19.1	20.4	86.7	93.7	7.2	7.1	4.6	4.7
T- 3	15	46	9	10	19.9	19.0	96.0	92.9	6.8	6.7	4.8	4.9
T- 7	54	19	9	10	18.8	19.9	93.9	101.0	6.7	7.1	5.0	5.2
T- 8	12	29	9	10	20.3	18.8	105.5	111.9	7.9	7.5	5.2	6.0
T- 9	10	3	10	9	19.5	17.5	90.1	83.9	6.8	6.6	4.6	4.9
T- 10	22	37	9	10	18.0	16.4	91.4	78.9	7.2	6.7	5.0	4.7
T- 13	5	30	8	9	21.9	21.3	95.2	102.2	6.9	7.6	4.4	4.8
T- 14	46	20	10	9	22.2	19.0	104.2	89.8	7.5	7.1	4.8	4.7
T- 17	41	14	9	10	18.7	20.8	95.9	101.8	7.4	7.3	5.2	4.9
T- 20	7	40	10	10	21.2	15.8	102.7	83.0	7.3	7.2	4.9	5.3
T- 21	47	4	10	9	20.6	16.4	96.0	83.8	7.6	7.3	4.8	5.0
T- 22	64	54	9	10	18.3	21.0	89.3	108.2	7.3	7.7	4.9	5.2
T- 23	31	25	8	10	17.9	22.7	89.3	103.5	6.5	6.9	5.0	4.6
T- 24	9	1	10	10	21.9	21.3	92.0	85.9	7.3	7.6	4.2	4.0
T- 25	49	45	10	10	22.9	22.4	110.5	102.3	7.1	7.1	4.8	4.6
T- 26	57	9	8	10	17.4	22.3	81.9	106.4	6.5	7.0	4.7	4.8
T- 27	60	18	10	8	18.8	20.0	89.0	102.8	7.8	7.1	4.8	5.2
T- 28	66	12	10	10	21.8	21.0	102.5	97.8	7.2	7.3	4.7	4.7
T- 29	30	15	9	10	20.6	20.4	99.9	93.8	7.0	7.2	4.8	4.6
T- 30	63	34	10	10	16.9	21.6	77.7	96.3	7.5	7.5	4.6	4.5
K- 31	68	43	7	8	20.8	24.0	107.5	126.1	7.3	7.2	5.2	5.3
K- 33	39	36	8	7	18.0	22.1	81.3	99.1	7.6	7.7	4.6	4.5
K- 34	67	48	7	7	22.1	23.6	108.8	107.9	7.8	7.5	5.0	4.5
K- 35	45	22	7	10	19.2	19.4	85.9	95.3	8.1	7.2	4.5	4.9
K- 36	55	39	9	9	18.9	16.4	89.8	84.2	7.7	7.2	4.8	4.9
K- 39	43	44	7	7	20.7	27.3	95.8	129.4	7.3	7.5	4.6	4.8
K- 40	44	23	7	7	21.3	23.8	93.6	107.0	8.0	7.6	4.4	4.6
K- 41	40	51	7	7	21.3	23.3	102.7	113.5	7.5	7.8	4.8	4.9
K- 44	37	6	7	7	23.4	23.9	102.2	120.0	8.9	7.8	4.3	5.1
K- 45	38	26	8	9	19.6	22.1	81.9	103.6	8.8	7.3	4.2	4.7
K- 46	52	42	7	8	22.0	24.1	106.1	113.4	7.6	7.5	4.8	4.7
K- 47	62	8	9	10	25.3	22.6	118.9	117.4	7.9	7.9	4.7	5.2
K- 50	28	49	9	7	23.3	19.7	114.6	103.0	7.9	7.2	5.1	5.4
K- 52	50	32	8	8	21.5	23.1	110.5	112.8	7.6	7.6	5.2	4.9
K- 53	23	10	7	7	21.7	25.9	101.1	125.0	8.1	8.0	4.7	4.9
K- 54	29	41	7	7	21.8	27.5	103.3	129.7	8.1	7.5	4.8	4.8
K- 55	19	35	6	6	23.5	25.1	115.8	114.3	8.1	8.1	4.9	4.5
K- 56	14	11	7	7	21.4	21.2	88.5	99.4	7.6	7.4	4.2	4.7
K- 59	36	16	8	7	20.5	25.1	89.7	120.2	7.9	8.1	4.3	4.8
K- 61	6	47	5	7	21.2	25.1	102.9	115.8	6.7	7.5	4.8	4.6

Note)

- 1) Tは東北産, Kは関西産
T and K stand for Tohoku and Kansai provenances, respectively.
- 2) I, IIはブロック番号
I and II mean block number.

Table 10. 当年枝および針葉形質に関する分散分析結果 (様式 I)
Results of analysis of variance in four traits for current year shoot and needle (Form I).

形 質 Traits	要 因 Source	自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F ¹⁾
当年枝長 Current year shoot length	ブロック Block	1	19.13	4.56 *
	産地 Provenance	1	120.30	24.93 **
	産地内家系 Family-within- provenance	38	4.83	1.15
	誤差 Error	39	4.20	
着葉数 No. of needles on a shoot	ブロック Block	1	886.88	9.97 **
	産地 Provenance	1	2293.50	16.95 **
	産地内家系 Family-within- provenance	38	135.31	1.52
	誤差 Error	39	88.92	
針葉長 Needle length	ブロック Block	1	0.289	2.65
	産地 Provenance	1	5.513	29.73 **
	産地内家系 Family-within- provenance	38	0.185	1.70 *
	誤差 Error	39	0.109	
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	ブロック Block	1	0.231	4.48 *
	産地 Provenance	1	0.078	0.57
	産地内家系 Family-within- provenance	38	0.138	2.67 **
	誤差 Error	39	0.052	

Note)

1) **および*は1%および5%レベルの有意性

** and * refer to significance at 1 percent and 5 percent level, respectively.

5. 当年枝および針葉形質の形質間相関

調査した4形質間および胸高直径との相関を、個体単位でみた場合と家系平均値でみた場合について、産地別に検討した(Table 12)。表示はしていないが、樹高と4形質との相関についても検討した。

全体を通してみると、両産地間で、形質間の相関係数の値は近似しており、形質間の相互関係の強さの程度は比較的安定しているものとみることができる。しかし、いくつかの形質間相関は産地

Table 11. 当年枝および針葉形質に関する産地別分散分析¹⁾結果 (様式II)
Results of analysis of variance in four traits for current year shoot and needle (Form II).

形質 Traits	要因 Source	東北産 Tohoku			関西産 Kansai		
		自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F ¹⁾	自由度 d.f.	平均平方 Mean squares	F ¹⁾
当年枝長 Current year shoot length	ブロック Block	1	0.039	0.010	1	35.133	9.54 **
	家系 Family	19	3.251	0.804	19	6.389	1.73
	誤差 Error	19	4.046		19	3.683	
着葉数 No. of needles on a shoot	ブロック Block	1	23.000	0.292	1	1396.9	18.37 **
	家系 Family	19	75.714	0.963	19	195.02	2.57 *
	誤差 Error	19	78.651		19	76.03	
針葉長 Needle length	ブロック Block	1	0.002	0.03	1	0.601	4.58 *
	家系 Family	19	0.176	2.58 *	19	0.189	1.44
	誤差 Error	19	0.068		19	0.131	
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	ブロック Block	1	0.026	0.55	1	0.203	3.80
	家系 Family	19	0.174	3.67 **	19	0.099	1.85
	誤差 Error	19	0.047		19	0.053	

Note)

1) ** および * は 1% および 5% レベルの有意性

** and * refer to significance at 1 percent and 5 percent level, respectively.

によって正負逆の相関係数であったり，相関係数の値に大きな差異がある場合もあった。

また，Table 12 で明らかなように，両産地の相関係数の値は，家系平均値でみるよりも個体単位でみる方がよく近似している。この種の形質間の表現型相関を議論する場合，平均値だけでなく個体単位の値による検討が有効と思われる。

4 形質間の相関をみると当年枝長と着葉数の相関が，両産地とも 1% の有意水準で正の相関（個体単位で $r = 0.82 \sim 0.88$ ，家系平均値で $r = 0.56 \sim 0.89$ ）が認められた。また，着葉数と着葉密度との間にも両産地で 1% もしくは 5% の水準で有意な正の相関（個体単位で $r = 0.29 \sim 0.39$ ，家系平均値で $r = 0.49 \sim 0.53$ ）が認められた。母樹の 4 形質間の相関では^{1) 2)}，当年枝長と着葉数でのみ，両産地とも 1% 水準で有意であった。当年枝が長ければ長いほどその当年枝につく針葉数が多くなることは，母樹だけでなく次代家系でも実証されたことになる。

次に，樹高や胸高直径と 4 形質との相関については，樹高よりも胸高直径との相関係数が高い値を示した。しかし，産地によって値に大差がある場合もみられ，樹高や胸高直径と 4 形質それぞれ

Table 12. 胸高直径, 当年枝および針葉形質の形質間相関
Phenotypic correlations between the traits for stem diameter, current year shoot and needle.

	胸高直径 ³⁾ Diameter at breast height	当年枝長 Current year shoot length	着葉数 No. of needles on a shoot	針葉長 Needle length	着葉密度 No. of needles per 1cm length of a shoot
胸高直径 Diameter at breast height	a ¹⁾ —	0.18**	0.25**	0.06	0.15**
	b	0.19**	0.25**	0.07	0.16**
当年枝長 Current year shoot length	a -0.16	— ²⁾	0.82**	0.19**	-0.18**
	b 0.52 *		0.88**	0.40**	-0.18**
着葉数 No. of needles on a shoot	a 0.06	0.56**	—	0.05	0.39**
	b 0.61**	0.89**		0.17**	0.29**
針葉長 Needle length	a 0.27	0.12	0.26	—	-0.25**
	b 0.43	0.29	0.10		-0.49 *
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	a 0.23	-0.44	0.49**	0.21	—
	b 0.35	0.09	0.53 *	-0.33	

Note)

- 1) a : 東北産 Tohoku provenance.
b : 関西産 Kansai provenance.
- 2) 右上側 : Upper side of dashes : 個体単位 Individual trees
: 自由度(d.f.) Tohoku 376, Kansai 297
左下側 : Lower side of dashes : 家系平均値 Family means
: 自由度(d.f.) Tohoku 18, Kansai 18
**および*は1%および5%レベルの有意性
**and *refer to sighthant at 1 percent and 5 percent level, respectively.

との間に明確な相関関係を認めることはできなかった。ただし、関西産の家系群にのみ、胸高直径と当年枝長、胸高直径と着葉数について個体単位および家系平均値の両方で1%もしくは5%の有意水準で正の相関が認められ、母樹¹⁾²⁾における結果と全く同様の傾向を示したのが注目された。

針葉は物質生産の基本的な器官であり、当年枝が長く着葉数が多いことは、成長量の増大にとって一つの有利な条件になりうる。同様なことは、針葉長や着葉密度についてもいえる。しかし、今回の結果から、これら針葉形質と樹幹の成長量との関係を明確に述べることはできない。ただし、関西産については、母樹および家系群とも、胸高直径と当年枝長、胸高直径と着葉数との間に高い相関が認められているので、今後、こうした点に着目したデータの蓄積が必要と考えられる。

6. 当年枝および針葉形質の親子相関

当年枝および針葉関連4形質について、母樹と子供家系の相関関係を調べた。母樹では、これら4形質は、樹冠の上, 中, 下部, 北側, 南側および総平均すべてについてデータが得られているが、家系群のデータは、樹冠上部からのものだけである。したがって、ここでは、母樹冠の総平均(A)および母樹冠上部(B)の2つのデータと各家系の平均値を用いて相関係数を求めた (Table 13)。供試家系はTable 9 に示す東北産、関西産各20家系である。

親子相関の全般的傾向をみると、いずれの形質についても、相関は有意とはならなかった。また、

Table 13. 当年枝および針葉形質の親子相関と親子回帰
Parent-offspring correlation and regression coefficients in the traits for current year shoot and needle.

形質 Traits		東北産 Tohoku		関西産 Kansai	
		母樹冠総平均 (A) ¹⁾	母樹冠上部 (B) ¹⁾	母樹冠総平均 (A) ¹⁾	母樹冠上部 (B) ¹⁾
当年枝長 Current year shoot length	相関係数 Correlation coefficient	-0.18	-0.04	0.26	0.12
	回帰係数 Regression coefficient	-0.12	-0.02	0.15	0.05
着葉数 No. of needles on a shoot	相関係数 Correlation coefficient	-0.29	-0.07	0.05	0.03
	回帰係数 Regression coefficient	-0.13	-0.02	0.03	0.01
針葉長 Needle length	相関係数 Correlation coefficient	0.42	0.39	0.36	0.15
	回帰係数 Regression coefficient	0.17	0.13	0.16	0.05
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	相関係数 Correlation coefficient	0.19	0.05	-0.01	-0.01
	回帰係数 Regression coefficient	0.05	0.01	-0.00	-0.00

Note)

1) 母樹冠総平均(A), 母樹冠上部(B)については本文参照

These coefficients were estimated from two kinds of the data, (A) and (B), on parent trees. The data (A) are mean values based on shoots and needles collected from whole parts of crown of each parent tree. The data (B) are mean values based on shoots and needles collected only from upper part of crown of each parent tree.

産地によって相関係数の値が大きく異なっているものがあつた。さらに，産地にかかわらず相関が負の値をとる場合が少なくなかつた。こうした傾向を示す理由のひとつとして，母樹と家系の樹齢の差が考えられる。

母樹冠総平均値と母樹冠上部の値は，全体と部分の関係にあるため，両産地のいずれの形質についても相関係数は総平均と上部で比較的似た値を示した。なお，家系の供試材料は樹冠上部から採っているにもかかわらず，親子の相関は母樹冠上部よりもむしろ母樹冠総平均の方で高い値を示す傾向が認められた。

母樹と家系では樹齢に相当の差があるので，現時点でこれらの形質の親子相関について正確な評価はできないが，針葉長については自由度 18 のときの有意水準 5% の相関係数 0.444 に近い値を示した。他の 3 形質については，Table 13 で明らかなように相関係数はほとんど±0.2 の範囲内であ

Table 14. 当年枝および針葉形質に関する分散成分の推定値
Estimates of variance components in the traits for current year shoot and needle.

形質 Traits	東北産 Tohoku			関西産 Kansai		
	σ_e^2	σ_{fb}^2	σ_f^2	σ_e^2	σ_{fb}^2	σ_f^2
当年枝長 Current year shoot length	16.69	2.27	0 (-0.40)	21.91	0.70	1.35
着葉数 No. of needles on a shoot	430.50	32.75	0 (-1.47)	524.96	4.50	59.50
針葉長 Needle length	0.51	0.01	0.05	0.55	0.06	0.03
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	0.42	0.00	0.06	0.44	0 (-0.01)	0.02

Note)

プロット内個体の調和平均(n_h): 東北産 9.38, 関西産 7.34

Harmonic means (n_h) of the number of trees per plot are 9.38 for Tohoku and 7.34 for Kansai.

Table 15. 家系の分散成分および親子回帰から推定した遺伝率
Heritability estimates based on variance components of open-pollinated families and parent-offspring regression coefficients.

形質 Traits	分散成分からの推定値 Estimates from variance components				回帰係数からの推定値 Estimates from regression coefficients			
	東北 Tohoku		関西 Kansai		東北 Tohoku		関西 Kansai	
	東北	Tohoku	関西	Kansai	東北	Tohoku	関西	Kansai
当年枝長 Current year shoot length	0		0.23		0		0.30	
着葉数 No. of needles on a shoot	0		0.40		0		0.06	
針葉長 Needle length	0.38		0.18		0.33		0.32	
着葉密度 No. of needles per 1 cm length of a shoot	0.52		0.20		0.09		0	

り、親子相関は認められなかったとみなしてさしつかえない。

7. 当年枝および針葉形質の遺伝率

遺伝率の推定は、本来、育種計画において遺伝的進歩がどの程度図れるかを予測するために行うものである。ここでとりあげる4形質は、少なくとも現在のところ遺伝的改良の目標になる形質とはいえない。したがって、以下で遺伝率を推定する意味は、遺伝的改良効果を予測するためではなく、これらの形質の表現型変異に対し遺伝的要因による変異がどれほど寄与しているかを見当づけることにある。

各形質の遺伝率は、親に対する子の回帰係数を2倍して求める方法と、家系の分散成分から求める方法によって、産地ごとに推定した。後者については、Table 2の様式IIに示す平均平方の期待成分から次の式で求めた。

$$h^2 = 4 \sigma_r^2 / (\sigma_e^2 + \sigma_{fb}^2 + \sigma_f^2)$$

Table 14には分散成分の推定値を、Table 15にはTable 14の分散成分から推定した遺伝率とTable 13の親子回帰係数から推定した遺伝率をあわせて示す。なお、Table 13の親子回帰係数は母樹冠総平均と母樹冠上部の2通りについて得られているが、回帰からの遺伝率推定は、母樹冠総平均のデータから得られた回帰係数のみによって行った。遺伝率は理論上0～1の範囲の値をとるので、家系間分散(σ_f^2)や親子回帰係数が負の値を示す場合は、これを0と読みかえ遺伝率の推定値を0とした。調査した4形質の遺伝率は、産地や推定方法によりかなりのバラツキを示した。当年枝長および着葉数の遺伝率は、東北産で0であるのに対し関西産は0.06～0.40の値を示した。着葉密度の遺伝率は、分散成分からの推定値が0.20～0.52であるのに対し、回帰係数からの推定値はほとんど0に近かった。推定方法のちがいで、推定値が大きく異なる理由については説明はつかない。これに対し針葉長の遺伝率は、産地や推定方法にかかわらず、0.18～0.38と、高くはないがやや安定した推定値であった。

推定方法や産地により、推定値に大きなバラツキもあり、個々の数値に大きな意味をもたせることはできないが、全般的にみて、当年枝長、着葉数および着葉密度の遺伝率はかなり低いものであると思われる。すなわち、本実験の範囲では、これら3形質の表現型変異に遺伝的要因による変異が寄与する割合はかなり低いといえることができる。それに比べ、針葉長については、遺伝的要因に基づく変異の寄与が大きくはないが明確に認められたとみることができよう。

引用文献

- 1) 材質育種研究班：材質育種に関する研究，第1報，東北地方アカマツ．林試研報，**222**，1～113，(1969)
- 2) 材質育種研究班：材質育種に関する研究，第2報，関西地方アカマツ．林試研報，**244**，1～114，(1972)
- 3) MOSTELLER, F., and YOUTZ, C. : Tables of the Freeman-Turkey transformations for the binomial and Poisson distributions. *Biometrika* **48**, 433～440, (1961)
- 4) 三上進ら：アカマツ自然受粉家系の生長，枝形質に関する親子相関および遺伝率．林試研報，**355**，77～96，(1989)

- 5) 岩崎正明・及川伸夫：岩手山麓におけるアカマツ種子産地試験林（40 年生）の生長，89 回日林論，271～273，（1978）
- 6) 山田行雄：量的形質の遺伝学（9）．遺伝，28（12），73～79，（1974）

**Variations, Parent-offspring Correlations and Heritabilities on
Stem Quality, Current Year Shoot and Needle Traits
in Open-pollinated Families of Japanese Red Pine,
Pinus densiflora SIEB. et ZUCC.
from the Iwate Experiment Plantation**

Chiaki YAMAMOTO⁽¹⁾, Susumu SHIRAIISHI⁽¹⁾ and Satoru YOKOTA⁽¹⁾

Summary

Variations between provenances or among families, parent-offspring correlations and heritabilities on stem quality, current year shoot and needle traits were investigated with 40 open-pollinated families which were derived from randomly selected Japanese red pines, *Pinus densiflora*, in two natural stands of the Tohoku and Kansai regions. These families were planted in a test plantation established 16 years ago in Iwate prefecture in the Tohoku region.

Four traits, namely, the forkedness, straightness, basal crookedness and stem crookedness were studied for stem quality. When comparing the Tohoku and Kansai provenances, the straight trees were found to be more frequent in the families of Tohoku, and the rates of the forked trees and the stem crooked trees were higher in the families from Kansai. There were significant differences among families for straightness in Tohoku and for stem crookedness in Kansai.

The estimates of family repeatability on forkedness in both provenances and on basal crookedness in Tohoku were zero, but those on straightness and stem crookedness ranged from 0.45 to 0.63 through the two provenances. It was clarified that the traits of the straightness and stem crookedness must be considerably controlled by the genetic factors in Japanese red pine.

The current year shoot length, number of needles on a current year shoot, needle length and number of needles per 1 cm length of a current year shoot (needle density) were also studied for shoot and needle traits. The average values of shoot length, number of needles and needle length in the family of the Kansai provenance were remarkably larger than those of the Tohoku provenance. The same tendency had been observed in the parent trees of these families.

There were significant differences among families for needle length and needle density in Tohoku and for number of needles in Kansai. Parent-offspring phenotypic correlations were non-significant for all of the four traits on shoots and needles in both provenances. Phenotypic correlations between shoot length and number of needles were outstandingly significant in the families of both provenances. The same result had been already obtained from the parent trees in both provenances.

The estimates of single tree heritability were computed by the application of two methods, that is, the variance components and parent-offspring regression coefficients. The heritability estimates on shoot length, number of needles and needle density fluctuated irregularly in the provenances and the applied methods, but the estimates on needle length were a little stable from 0.18 to 0.38. It was suggested that the traits of the needle length may be more or less governed by the genetic factors in Japanese red pine.

Received January 5, 1988

(1) (2) (3) ex. Silviculture Division (Bio-resources Technology Division)