

多雪山地と少雪平坦地に植栽したスギ人工交配家系の 幼齡期における雪害抵抗性の発現様式

向田 稔⁽¹⁾・宮浦富保⁽²⁾

Minoru MUKOUDA and Tomiyasu MIYAURA

Juvenile expression of resistance to snow damage observed in the diallel crossed sugi(*Cryptomeria japonica* D.Don) families in mountainside and flat field environments.

要旨:スギ精英樹のダイヤレル交配25家系の苗木を多雪山地（山地試験地）と少雪平坦地（平坦地試験地）に植栽した。山地試験地の5年生時と10年生時および平坦地試験地の7年生時の調査データに基づき、傾幹幅（根元曲り）と他の形質との関係を吟味し、雪害抵抗性の指標となりうる形質を検索するとともに、諸形質の遺伝特性について検討した。傾幹幅については、一般組合せ能力は有意であったが、特定組合せ能力は有意ではなかった。また傾幹幅は、試験地間および年次間の相関が高かった。傾幹幅の遺伝率は0.439～0.496と推定され、試験地間や年次間に大きな違いは認められなかった。根株引抜き抗力や二年生枝の数、二年生枝の長さ、幹のヤング率については、狭義の遺伝率が0.340～0.529と推定され、傾幹幅との間に1%水準で有意な相関が認められた。これらの形質も、傾幹幅とともに、根元曲りの指標として重要であると考えた。

1 はじめに

積雪地帯に植栽されたスギには、雪圧によって根元曲りや幹曲りが多く発生するため、成林までに根踏みや雪起こし等の作業に多額の経費を投入する必要があるばかりではなく、伐採時には根元曲り部分のほとんどは山に切り捨てられるのが実態である。しかも、この部分は最も価値の高い一番丸太であるので損失も大きい。更に根抜けによる枯損や根元や幹が折れたり、裂けたりする致命的な被害が発生するので、積雪地帯の林業経営にとって、造林木の雪害回避が最も重要な課題である。

多雪地帯では根元曲りの少ない品種、豪雪地帯では雪圧に耐えて成林する品種を育成することを目的として、選抜育種が進められている。まず初めに被害地から雪害抵抗性候補木を選出し、これらの雪害抵抗性や環境適応性を把握するために、積雪山地での現地検定¹⁾を行うとともに、早期検定法の検討を進めている。これまでの成果として、根元曲りが著しく少なく、成長の優れた2個体を選抜し、これらを「出羽の雪1号および2号」として品種登録した。また、精英樹選抜育種事業¹³⁾で選抜された精英樹群に比べ、雪害抵抗性候補木のさし木クローンや交配家系群の方が根元曲りが小さい^{4,6)}ことから、選抜育種法による雪害抵抗性育種が効果的であることが明らかになってきた。

(1), (2), 林木育種センター東北育種場

〒020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字大崎 95 番内

Forest Tree Breeding Center Tohoku Regional Breeding Office 95 Osaki, Takizawa, Iwate 020-0173 Japan

雪害抵抗性育種を進めるためには、雪害抵抗性の早期検定法の開発や抵抗性形質の遺伝情報の集積が必要である。しかし、雪害抵抗性の早期検定法や遺伝力の推定等の耐雪抵抗性に関する報告が少ない^{2,5,7,8)}。

スギ精英樹のダイヤレル交配家系を多雪山地と少雪平坦地に植栽し、山地植栽木の5年生時および10年生時に発生した根元曲りや幹折れ被害と平坦地植栽木の7年生時における調査形質を各変動要因にもとづいて分析し、抵抗性の遺伝に関する2・3の知見が得られたので報告する。

なお、各調査形質の分析に当たり鶴飼保雄氏が開発した量的形質のダイヤレル分析のためのパソコン用プログラム DIALL を使用させて戴きました。ここに記して感謝申し上げます。

2 材料と方法

2. 1 供試材料

1983年3月に、林木育種センター東北育種場奥羽事業場のスギ精英樹採種園において、酒田3，山形3，東蒲原6，中頸城6，村松1号の5クローンをを用いたダイヤレル交配を実施した。

この交配で得られた25家系を用いて、多雪地帯の山地と少雪地帯の平坦地の2個所に試験地を造成した。

供試苗木は、奥羽事業場の苗畑において1984年の春にまき付けた、2回床替3年生苗木である。これらの苗木のうち、3,750本を1986年10月に山形県尾花沢市南沢の戸平山国有林35林班内の試験地（以下、山地試験地と言う）に植栽した。また、1,200本の苗木を1987年4月に山形県東根市神町の林木育種センター東北育種場奥羽事業場内の試験地（以下、平坦地試験地と言う）に植栽した。

2. 2 山地試験地の地況と植栽および調査の方法

本試験地は、ナラを主体とした天然広葉樹伐採跡地で、標高300～320mの山腹北西斜面に位置しており、傾斜角度は15～22°、平均積雪深が約2mの多雪山地である。

図1に示すように3ブロックを設け、各ブロックに1家系当り50本（25本×2列）の苗木を1.8m間隔で列状

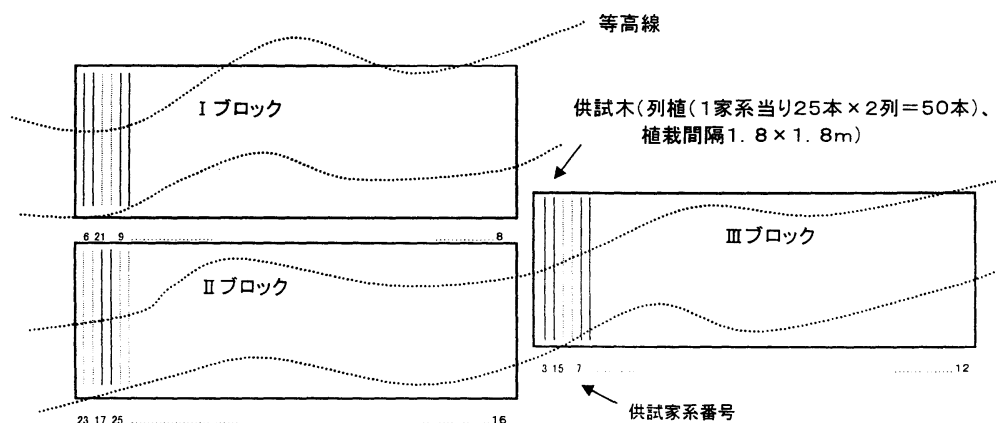


図1 山地試験地の配置図

に植栽した。植栽列が等高線とおおむね直交するように配置した。植栽本数は3,750本、植栽面積は約1.2haである。配置は乱塊法により行った。

1991年10月（5年生時）と1996年10月（10年生時）の調査で得られた樹高、胸高直径、根元曲り（傾幹幅）および幹折れ被害について解析した。

図2に傾幹幅の測定方法の概略を示す。植栽位置上にポールを垂直に立て、ポールの地上1.2m位置から樹幹軸までの水平距離をcm単位で測定し、この値を傾幹幅と定義した。5年生時の測定では、傾幹幅の測定値をそのままデータとして記録した。10年生時の測定では、傾幹幅の大きさにより、0～50cmのものに「1」、51～100cmのものに「3」、101cm以上のものに「5」という指数値を与え、この指数値を傾幹幅のデータとして記録した。

幹折れ被害の調査については、5年生時および10年生時とも、幹が完全に折れて枯死したものの、くの字に折れ曲がりまだ生きているものなど幹折れの形跡が確認された個体のみを被害木として扱った。

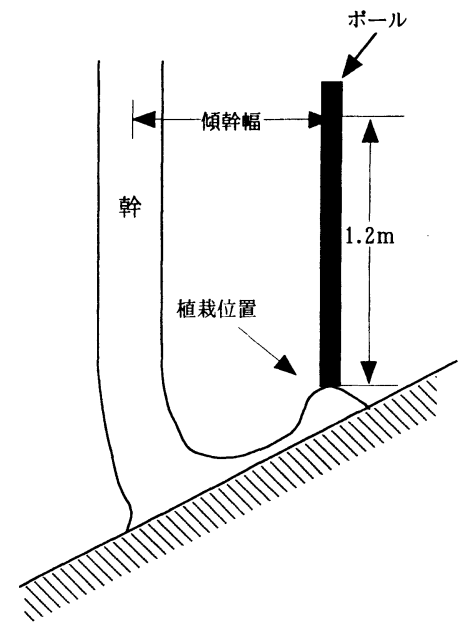


図2 傾幹幅の測定方法

2. 3 平坦地試験地の地況と植栽および調査の方法

本試験地は、標高113mの平坦地に設定した。試験地付近の植栽後10年間（1987年～1996年）の平均最高積雪深は47cmであり、山地試験地よりも降雪量が少ない。なお、植栽後10年間で積雪が最も少なかったのは植栽後3年目の1989年で、このときの最高積雪深は17cmであった。一方、最も積雪の多かったのは9年目の1995年で、このときの最高積雪深は88cmであった。

図3に示すように試験地内に、3ブロックを設け、各ブロックに各25家系を1家系当たり16本の苗木を75cmの間隔で方形に植栽した（プロット）。プロットの配置は乱塊法により行った。なお、環境を均一にするため試験地の外周

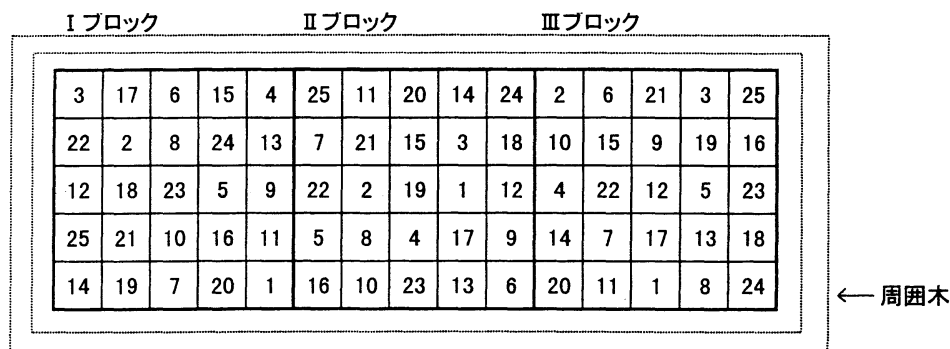


図3 平坦地試験地のプロット配置図

周囲木(2列植、植栽間隔75cm×75cm)

供試木(プロット植(1家系当り、4本×4本×3反復)、植栽間隔75cm×75cm)

× × × ×
× × × ×
× × × ×
× × × ×

に、供試木と同年齢のスギの実生苗を植栽した。供試木の植栽本数は1,200本、植栽面積は約0.09haである。

1993年11月に、7年生時における樹高、胸高直径および傾幹幅を全個体について測定した。また、1家系当り10本ずつの個体を伐倒して以下の形質を測定した。なお、伐倒する個体の選択にあたっては、各家系ごとに、ブロック間に偏りが生じないように注意した。

幹の細り比：地上高3.2mの幹直径を胸高直径で除し、これを幹の細り比とした。

樹冠直径：樹冠の最大と最小直径を測定し、平均樹冠直径を求めた。

二年生枝の数、長さ、太さ、岐出角度：二年生の幹に着生しているすべての枝について測定し、それぞれの平均値を求め、個体の代表値とした。

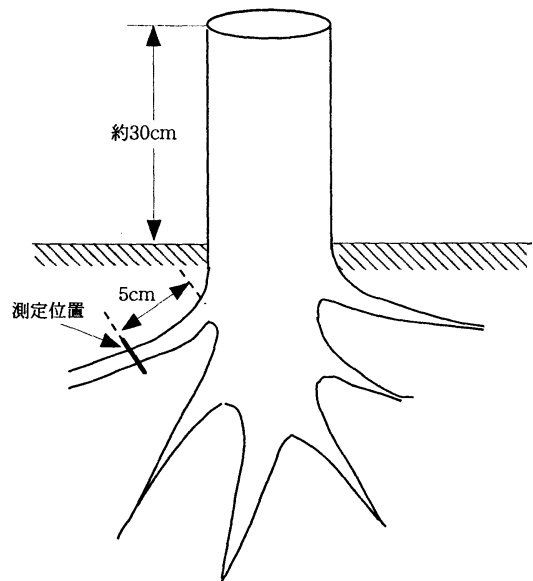


図4 根の太さについての測定方法

根株引抜き抗力：図4に示す根株のように、幹部位を約30cm残して伐倒し、幹部分にワイヤーを掛け、クレーンで垂直上方に牽引し、根株を引き抜くのに要した荷重をロードセルで測定し、これを根株引抜き抗力とした。

最大根径、三大根径：図4に示すように、引き抜いた根株から分岐している根の分岐位置から5cm位置の直径を測定し、最も太い根を最大根径とした。また、上位3本での平均値を求め、これを三大根径とした。

1996年11月に、1家系当り9本（3本×3反復）ずつの個体を無作為に抽出し、伐倒して、幹のヤング率を測定した。地上高1mから2.5mまでの幹長1.5mの幹を用いてタッピング法により、FFTアナライザーで縦振動を測定して、動的ヤング率を次式で求めた。

$$E = 4 L^2 f^2 r / n^2 g \text{ (gf/cm}^2\text{)}$$

L：材長（cm），f：固有振動数（Hz），r：密度（g/cm³），n：固有振動数の次数（n：整数），g：重力加速度（980cm/sec²）

2. 4 データの分析

データの分析には、鶴飼保雄氏が開発した量的形質のダイアレル分析のためのパソコン用プログラム DIALL を用いた。このプログラムで計算される分散分析を行うと共に、遺伝分散成分から遺伝率（ $h^2_B \cdot h^2_N$ ）を次式により推定した。

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

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

ここで、 D は相加的遺伝分散を、 H_1 、 H_2 は非相加的遺伝分散（但し、 $H_1 = H_2 (1 - (u-v)^2)$ 、 u は優性遺伝子の頻度であり、 v は劣性遺伝子の頻度である）を、 F は組合せ内各家系の平均分散を、 E は環境分散を示している。

3 調査結果

3.1 山地試験地

5年生時および10年生時における、調査形質ごとの家系平均、雌親平均および雄親平均を表1に示した。また、その分散分析の結果を表2に示した。

5年生時の平均傾幹幅は37.0cmで、その範囲は23.0~50.4cmであった。交配家系ごとの変異は図5に示すとおりである。10年生時の根元曲りは指数により評価した。その平均値は2.6で、その範囲は1.6~3.5であった。その交配家系ごとの変異は図6に示すとおりである。

各形質ごとに家系平均値を用いて分散分析を行い、その結果を形質ごとに表2に示した。5年生時と10年生時の傾幹幅については、一般組合せ能力が1%水準で有意であった。また、5年生時の生存率と幹折れ被害率については、一般組合せ能力が5%水準で有意であった。その他の形質については、一般組合せ能力は有意ではなかった。特定組合せ能力は、全形質とも有意でなかった。

5年生時の樹高と10年生時の樹高については、有意な正逆交配間差が認められたが、その他の形質については、有意な正逆交配間差は認められなかった。

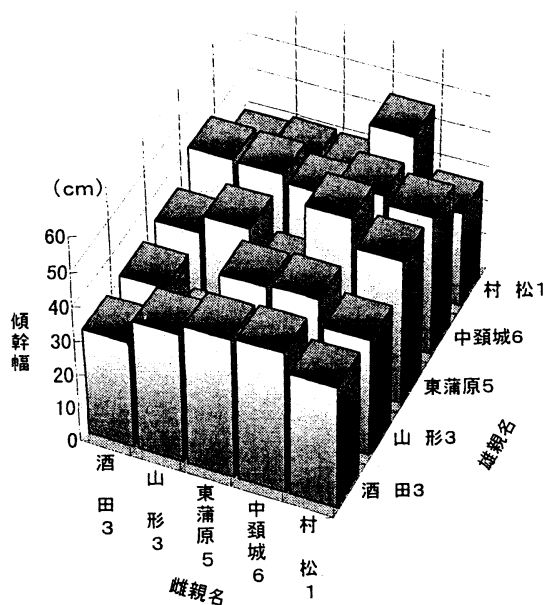


図5 山地試験地の5年生時における各家系の平均傾幹幅

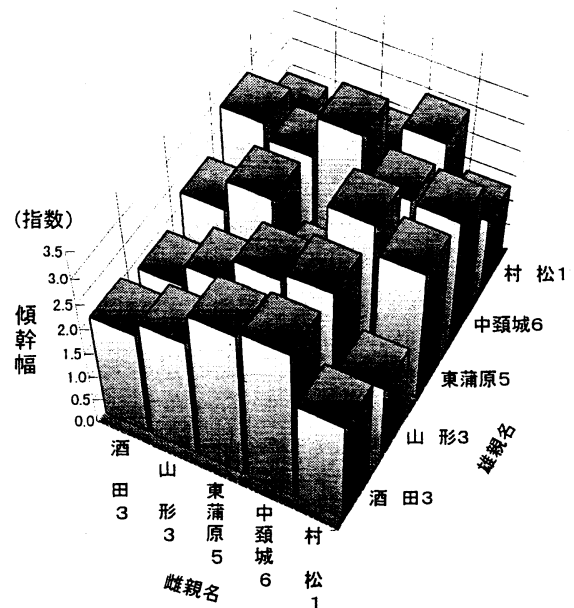


図6 山地試験地の10年生時における各家系の平均傾幹幅

表1 山地試験地の5年生および10年生時における調査形質の家系平均値

家 系 名	5 年 生 時				10 年 生 時				
	生存率 (%)	樹 高 (m)	傾幹幅 (cm)	幹折れ (%)	生存率 (%)	樹 高 (m)	胸高直 径(cm)	傾幹幅 (指数)	幹折れ (%)
1 酒 田3×酒 田3	60.0	1.35	31.3	40.0	51.1	2.64	3.18	2.1	48.9
2 酒 田3×山 形3	86.7	2.01	32.5	13.3	86.7	3.68	5.33	1.9	13.3
3 酒 田3×東蒲原5	75.3	1.82	34.0	24.7	72.2	3.54	4.82	2.3	27.8
4 酒 田3×中頸城6	68.0	2.36	41.3	32.0	66.7	4.11	6.27	2.9	33.3
5 酒 田3×村 松1	77.3	1.94	30.1	22.7	80.0	3.88	5.57	2.0	20.0
6 山 形3×酒 田3	82.0	2.09	37.9	18.0	82.2	3.83	5.34	2.4	17.8
7 山 形3×山 形3	62.0	1.58	23.0	38.0	60.0	2.58	3.45	2.4	40.0
8 山 形3×東蒲原5	84.0	2.06	39.3	16.0	86.7	3.69	5.32	2.9	13.3
9 山 形3×中頸城6	81.3	2.24	40.9	18.7	82.2	3.78	5.26	2.6	17.8
10 山 形3×村 松1	86.0	2.08	31.6	14.0	84.5	3.79	5.60	1.9	15.6
11 東蒲原5×酒 田3	66.0	2.14	40.8	34.0	68.9	3.98	5.71	2.9	31.1
12 東蒲原5×山 形3	76.0	2.29	41.2	24.0	74.4	3.94	5.91	2.8	25.6
13 東蒲原5×東蒲原5	73.3	1.37	29.5	26.7	81.1	2.52	2.79	1.8	18.9
14 東蒲原5×中頸城6	77.3	2.21	38.7	22.7	82.2	4.13	5.89	3.4	17.8
15 東蒲原5×村 松1	75.3	1.78	31.0	24.7	74.4	3.49	4.57	2.1	25.6
16 中頸城6×酒 田3	71.3	2.49	41.3	28.7	70.0	4.53	6.75	3.0	30.0
17 中頸城6×山 形3	77.3	2.21	41.8	22.7	77.8	4.06	6.12	3.0	22.2
18 中頸城6×東蒲原5	75.3	2.38	50.4	24.7	75.6	4.25	6.27	3.1	24.4
19 中頸城6×中頸城6	79.3	1.71	42.9	20.7	77.8	3.12	4.00	2.5	22.2
20 中頸城6×村 松1	80.7	2.50	46.0	19.3	76.7	4.39	6.45	2.6	23.3
21 村 松1×酒 田3	82.0	2.28	35.7	18.7	82.2	4.11	5.95	2.1	17.8
22 村 松1×山 形3	86.7	2.39	34.3	13.3	86.7	4.24	6.27	1.5	13.3
23 村 松1×東蒲原5	86.0	2.37	42.4	14.0	87.8	4.29	6.34	2.6	12.2
24 村 松1×中頸城6	84.0	2.05	40.6	16.0	87.8	3.70	5.35	2.5	12.2
25 村 松1×村 松1	74.0	1.12	27.7	26.0	61.1	2.40	2.76	1.5	38.9
雌 酒 田3	73.5	1.90	33.8	26.5	71.3	3.57	5.04	2.2	28.7
親 山 形3	79.1	2.01	34.6	20.9	79.1	3.53	4.99	2.4	20.9
平 東蒲原5	73.6	1.96	36.2	26.4	76.2	3.61	4.97	2.4	23.8
均 中頸城6	76.8	2.26	44.5	23.2	75.6	4.07	5.92	2.8	24.4
村 松1	82.5	2.04	36.1	17.6	81.1	3.75	5.33	2.0	18.9
雄 酒 田3	72.3	2.07	37.4	27.9	70.9	3.82	5.39	2.5	29.1
親 山 形3	77.7	2.10	34.5	22.3	77.1	3.70	5.42	2.3	22.9
平 東蒲原5	78.8	2.00	39.1	21.2	80.7	3.66	5.11	2.5	19.3
均 中頸城6	78.0	2.11	40.9	22.0	79.3	3.77	5.36	2.8	20.7
村 松1	78.7	1.88	33.3	21.3	75.3	3.59	4.99	2.0	24.7
平 均 値	77.1	2.03	37.0	22.9	76.7	3.71	5.25	2.6	23.3
全 最 大 値	86.7	2.50	50.4	40.0	87.8	4.53	6.75	3.5	48.9
最 小 値	60.0	1.12	23.0	13.3	51.1	2.40	2.76	1.6	12.2
体 標 準 偏 差	7.3	0.36	6.2	7.2	9.3	0.59	1.14	0.5	9.3
変 動 係 数	9.4	17.90	16.8	31.5	12.2	16.04	21.72	19.5	40.0

注) 10年生時の傾幹幅は、指数値。

表2 山地試験地における調査形質の分散分析結果

形 質		5 年 生 時				10 年 生 時				
		生存率 (%)	樹 高 (m)	傾幹幅 (cm)	幹折れ (%)	生存率 (%)	樹 高 (m)	胸高直径 (cm)	傾幹幅 (指数)	幹折れ (%)
要 因	自 由 度	平 均 平 方				平 均 平 方				
一般組合せ能力	4	106.64 *	0.047	71.80 **	55.93 *	100.38	0.092	0.32	0.96 **	50.10
特定組合せ能力	5	19.21	0.017	4.79	9.50	31.57	0.047	0.25	0.04	13.89
正逆交配間差	10	17.56	0.047 **	20.72	10.03	28.34	0.096 *	0.36	0.06	15.82
誤 差	(38)	14.92	0.016	10.40	8.57	21.02	0.036	0.22	0.08	10.83

* *: 1%, *: 5%水準で有意。 注) 10年生時の傾幹幅は、指数値。

3. 2 平坦地試験地

当試験地は、植栽後10年間の平均最高積雪深が47cm程度の少雪平坦地であるが、植栽後9年目の1995年2月に88cmの降雪を記録した。この突発的な降雪で、供試木は冠雪により将棋倒し状に倒伏し、根抜けが多発した。冠雪により倒伏すると、幹の倒伏側と反対側の根が切れること（断根）により、倒伏後の成長や根系の発達が遅れ、幹の起立に悪影響をもたらすとの報告^{15), 19)}がある。これらの被害木について、10年生時に根系を観察調査したところ、多くの供試木に断根が発生していた。10年生時の樹高、胸高直径、傾幹幅などの形質は倒伏や断根の影響を受けている可能性がある判断し、解析には植栽後7年生時の測定形質を用いることとした。ただし、幹のヤング率については、10年生時の測定値を用いた。

当試験地における7年生時の調査形質と10年生時の幹のヤング率についての家系平均、雌親平均および雄親平均を表3に示した。また、その分散分析の結果を表4、5に示した。

樹高、傾幹幅、樹冠直径、二年生枝の長さ、二年生枝の岐出角度および根株引抜き抗力については、一般組合せ能力が5%水準で有意であった。また、樹高、胸高直径、二年生枝の数、二年生枝の岐出角度、最大根径および三大根径については、特定組合せ能力が有意であったが、その他の形質については、特定組合せ能力は有意でなかった。

樹高、胸高直径、二年生枝の直径、二年生枝の岐出角度、根株引抜き抗力、最大根径および三大根径については、有意な正逆交配間差が認められたが、その他の形質には、有意な正逆交配間差は認められなかった。

表3 平坦地試験地における調査形質の家系平均値

家 系 名	樹高	胸高	傾幹幅	樹冠	幹	二 年 生 枝				引抜き	最大根	三大根	幹
	直径 (m)	直径 (cm)	(cm)	直径 (cm)	細り比 (%)	枝数 (本)	直径 (cm)	長さ (cm)	角度 (°)	抗力 (tf)	径 (cm)	径 (cm)	ヤング率 (g/cm ²)
1 酒 田3×酒 田3	4.38	4.3	24.5	126	40.8	19.3	2.8	20.4	27.6	0.81	3.1	2.4	42.9
2 酒 田3×山 形3	6.37	7.3	21.1	211	66.9	17.7	4.1	23.2	27.4	1.24	4.1	3.1	43.4
3 酒 田3×東蒲原5	6.68	6.7	46.1	177	67.1	19.7	4.1	28.0	19.5	0.99	3.8	2.8	39.1
4 酒 田3×中頸城6	7.12	6.8	58.9	158	68.7	22.3	3.7	29.1	24.4	0.57	2.6	2.0	39.0
5 酒 田3×村 松1	6.08	5.9	37.8	149	62.6	19.0	3.5	23.8	25.7	1.07	3.7	2.7	47.8
6 山 形3×酒 田3	6.32	7.1	48.3	192	61.9	19.0	4.0	25.8	23.5	0.89	2.8	2.1	41.1
7 山 形3×山 形3	3.94	3.9	49.2	149	70.8	16.0	3.1	18.5	33.6	0.69	3.7	2.9	37.6
8 山 形3×東蒲原5	5.49	5.2	50.6	176	59.8	18.3	3.1	21.7	18.4	0.31	2.8	2.1	42.0
9 山 形3×中頸城6	6.71	6.7	64.9	202	70.0	18.7	4.4	28.5	29.9	0.75	3.2	2.3	40.4
10 山 形3×村 松1	5.99	6.2	60.3	208	63.9	21.7	3.9	24.8	31.3	1.01	4.1	3.0	44.3
11 東蒲原5×酒 田3	6.40	6.3	57.3	173	71.2	19.3	3.8	25.6	22.8	0.73	3.2	2.3	39.1
12 東蒲原5×山 形3	6.22	6.6	54.4	202	65.0	17.7	4.2	26.2	27.1	0.81	3.6	2.4	41.1
13 東蒲原5×東蒲原5	5.16	4.0	46.0	135	59.5	16.3	3.7	26.0	21.9	0.95	4.6	3.4	44.1
14 東蒲原5×中頸城6	7.39	6.9	60.0	170	77.8	22.7	3.5	28.6	18.3	0.35	2.4	1.6	32.1
15 東蒲原5×村 松1	6.86	7.0	57.2	171	71.7	17.3	3.7	24.0	21.8	1.11	3.1	2.5	46.3
16 中頸城6×酒 田3	6.76	7.4	31.8	185	71.2	25.3	4.0	27.8	35.4	1.02	3.6	2.5	42.9
17 中頸城6×山 形3	7.13	6.4	60.9	187	79.9	23.3	3.7	26.0	30.8	0.82	3.6	2.8	47.7
18 中頸城6×東蒲原5	7.11	6.0	105.7	171	81.7	18.3	3.8	28.5	14.3	0.55	2.9	2.0	42.7
19 中頸城6×中頸城6	5.41	4.9	53.2	156	53.4	21.3	3.8	27.8	19.3	0.89	3.6	2.7	39.3
20 中頸城6×村 松1	7.16	6.8	60.6	179	74.6	20.0	3.9	27.4	34.8	1.23	4.2	3.2	42.3
21 村 松1×酒 田3	6.73	6.6	39.8	176	71.4	20.3	3.4	26.0	30.1	1.06	3.5	2.4	44.6
22 村 松1×山 形3	6.28	6.9	30.9	188	63.0	21.0	3.6	24.6	33.1	1.32	3.8	2.7	46.4
23 村 松1×東蒲原5	6.77	6.6	39.2	180	71.0	18.7	3.5	23.8	22.1	1.03	3.2	2.4	45.2
24 村 松1×中頸城6	6.81	6.7	49.6	188	69.4	18.0	3.7	27.5	26.2	0.59	2.9	2.2	43.5
25 村 松1×村 松1	3.80	3.7	15.0	122	63.0	11.0	2.8	17.5	21.8	1.07	3.9	2.7	48.7
雌 酒 田3	6.13	6.2	37.7	164	61.2	19.6	3.6	24.9	24.9	0.94	3.5	2.6	42.5
親 山 形3	5.69	5.8	54.7	185	65.3	18.7	3.7	23.9	27.3	0.73	3.3	2.5	41.1
平 東蒲原5	6.41	6.1	55.0	170	69.0	18.7	3.8	26.1	22.4	0.79	3.4	2.4	40.5
均 中頸城6	6.71	6.3	62.5	176	72.2	21.7	3.8	27.5	26.9	0.90	3.6	2.6	43.0
村 松1	6.08	6.1	34.9	171	67.6	17.8	3.4	23.9	26.7	1.01	3.5	2.5	45.7
雄 酒 田3	6.12	6.3	40.4	170	63.3	20.7	3.6	25.1	27.9	0.90	3.2	2.3	42.1
親 山 形3	5.99	6.2	43.3	187	69.1	19.1	3.8	23.7	30.4	0.98	3.8	2.8	43.2
平 東蒲原5	6.24	5.7	57.5	168	67.8	18.3	3.6	25.6	19.2	0.77	3.5	2.5	42.6
均 中頸城6	6.69	6.4	57.3	175	67.9	20.6	3.8	28.3	23.6	0.63	2.9	2.1	38.9
村 松1	5.98	5.9	46.2	166	67.2	17.8	3.5	23.5	27.1	1.10	3.8	2.8	45.9
平 均 値	6.20	6.1	48.9	173	67.1	19.3	3.7	25.2	25.6	0.87	3.4	2.5	42.5
全 最 大 値	7.39	7.4	105.7	211	81.7	25.3	4.4	29.1	35.4	1.32	4.6	3.4	48.7
最 小 値	3.80	3.7	15.0	122	40.8	11.0	2.8	17.5	14.3	0.31	2.4	1.6	32.1
体 標 準 偏 差	0.97	1.1	17.6	23	8.4	2.8	0.4	3.1	5.6	0.26	0.5	0.4	3.6
変 動 係 数	15.67	17.9	36.0	13	12.5	14.3	10.6	12.1	21.9	29.44	0.2	0.2	8.5

注)ヤング率は、10年生時の調査値、他の形質は7年生時の調査値である。

表4 平坦地試験地における幹等調査形質の分散分析結果

形 質		樹 高 (m)	胸 高 直 径 (cm)	傾幹幅 (cm)	樹 冠 直 径 (cm)	幹 の 細り比 (%)	幹 の ヤング率 (gf/cm ²)
要 因	自 由 度	平	均	平	均	平	均
一般組合せ能力	4	70.015 *	0.24	694.18 *	623.63 *	101.02	29.64
特定組合せ能力	5	12.386 **	0.35 **	106.09	118.60	24.66	6.71
正逆交配間差	10	8.205 **	0.22 *	251.60	166.68	14.81	10.24
誤 差	(38)	2.373	0.09	160.72	91.35	9.92	5.29

** : 1%, * : 5%水準で有意。 注) ヤング率は、10年生時の調査値、他の形質は7年生時の調査値である。

表5 平坦地試験地における枝および根系に関わる形質の分散分析結果

形 質		二 年 生 枝				根 系		
		数 (本)	直 径 (mm)	長 さ (cm)	角 度 (°)	引抜き 抗力(tf)	最大根 径(cm)	三大根 径(cm)
要 因	自 由 度	平	均	平	均	平	均	平
一般組合せ能力	4	6.96	0.10	13.66 *	100.68 *	20.20 *	6.01	23.12
特定組合せ能力	5	6.35 *	0.06	1.22	15.94 *	3.39	26.74 **	18.44 **
正逆交配間差	10	2.99	0.10 **	2.32	16.80 *	5.95 **	39.87 **	25.38 **
誤 差	(38)	2.83	0.03	1.25	5.22	1.16	6.19	3.51

** : 1%, * : 5%水準で有意。

3. 3 山地および平坦地試験地における調査形質間の相関関係

山地試験地の5年生時と10年生時および平坦地試験地の7年生時における各形質の家系平均値から計算した相関係数を表6に示した。表6の、対角線左下に形質間の相関係数を、右上に5%水準以上で相関が有意と認められた形質の組合せを*印で示した。山地試験地の樹高、傾幹幅および幹折れにおける調査年次間の相関係数は、いずれも1%水準で有意であり、相関係数の絶対値も比較的大きかった。

樹高、胸高直径および傾幹幅に関しては、平坦地試験地の7年生時の測定値と山地試験地の10年生時あるいは5年生時の測定値との間の相関で1%水準で有意であり、相関係数の絶対値も比較的大きかった。このことは、これらの形質は、遺伝的な支配の強い形質と考えられる。

平坦地試験地で7年生時に測定した、樹高、傾幹幅、幹の細り比、二年生枝の枝数および枝の長さ、最大根径、三大根径、根株引抜き抗力、幹のヤング率と山地試験地で10年生時に測定した傾幹幅との間には、1%水準で有意な相関が認められた。平坦地試験地で7年生時に測定した胸高直径と、山地試験地で10年生時に測定した傾幹幅との間には、5%水準で有意な相関が認められた。平坦地試験地で7年生時に測定した樹冠直径および二年生枝の直径、二年生枝の岐出角度と、山地試験地で10年生時に測定した傾幹幅との間には有意な相関は認められなかった。

最大根径、三大根径および根株引抜き抗力の相互間に、1%水準で有意な相関が認められた。

表6 各形質間の相関係数

調査年時		5年生時(山地)			10年生時(山地)				7年生時(平坦地)												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5年生時 (山地)	1 樹 高	**	*		**	**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**					
	2 傾 幹 幅	0.72			**	**	**		**	**	**	*	*	*	*	**			*	*	
	3 幹 折 れ	-0.41	-0.25		*	*		**	*	**			**		*						
10年生時 (山地)	4 樹 高	0.97	0.69	-0.43		**	**	**	**	**	*	**	**	**	**	**					*
	5 胸高直径	0.97	0.67	-0.42	0.99		**	**	**	**	*	**	**	**	**	**					
	6 傾 幹 幅	0.56	0.73	0.18	0.52	0.53			**	*	**	**		**	**	**		**	**	**	**
	7 幹 折 れ	-0.48	-0.29	0.91	-0.49	-0.47	0.00		**	**			**		*	*					
7年生時 (平坦地)	8 樹 高	0.83	0.68	-0.40	0.87	0.84	0.53	-0.52		**	**	**	**	**	**	**					
	9 胸高直径	0.82	0.49	-0.46	0.86	0.84	0.34	-0.49	0.89			**	**	**	**	**					
	10 傾 幹 幅	0.42	0.60	0.00	0.35	0.35	0.61	-0.15	0.48	0.19		**			*	**		**	*		
	11 幹細り比	0.59	0.41	-0.17	0.58	0.59	0.49	-0.27	0.66	0.50	0.54		*		*	*					
	12 樹冠直径	0.71	0.40	-0.65	0.67	0.68	0.24	-0.64	0.63	0.78	0.24	0.40		*	**	*					
	13 枝 数	0.64	0.46	-0.08	0.66	0.65	0.50	-0.19	0.60	0.58	0.22	0.19	0.39		*	**					
	14 枝 直径	0.56	0.44	-0.39	0.52	0.49	0.25	-0.46	0.64	0.69	0.37	0.35	0.77	0.36		**					
	15 枝 長さ	0.64	0.70	-0.23	0.63	0.58	0.54	-0.39	0.81	0.63	0.57	0.40	0.44	0.63	0.72						*
	16 枝 角度	0.25	-0.19	0.00	0.17	0.21	-0.21	0.08	-0.02	0.19	-0.31	0.03	0.29	0.28	0.13	-0.11		*	*	*	
	17 引抜抗力	-0.05	-0.30	-0.27	0.01	-0.02	-0.69	-0.08	-0.04	0.16	-0.50	-0.13	0.10	-0.09	0.19	-0.17	0.46		**	**	**
	18 最大根径	-0.27	-0.39	-0.12	-0.28	-0.28	-0.61	-0.03	-0.31	-0.25	-0.34	-0.14	-0.02	-0.22	0.14	-0.22	0.42	0.72		**	*
	19 三大根径	-0.32	-0.44	-0.09	-0.34	-0.33	-0.62	0.00	-0.33	-0.26	-0.33	-0.17	-0.04	-0.21	0.10	-0.27	0.44	0.71	0.96		*
	20 幹ヤング率	-0.15	-0.21	-0.28	-0.06	-0.06	-0.58	-0.12	-0.14	-0.10	-0.34	-0.11	-0.07	-0.27	-0.19	-0.37	0.22	0.59	0.43	0.44	

注) *は5%、**は1%水準で有意。

但し、10年生時の傾幹幅は、指数。ヤング率は、10年生時の調査値。

平坦地試験地での傾幹幅と、平坦地試験地での、樹高、幹の細り比、二年生枝の長さ、根株引抜き抗力との間には、1%水準で有意な相関が認められた。また、平坦地試験地での二年生枝直径および最大根径については、平坦地試験地での傾幹幅との間に5%水準で有意な相関が認められた。しかし、胸高直径、樹冠直径、二年生枝の数、二年生枝の岐出角度、三大根径および幹のヤング率については傾幹幅との間に有意な相関は認められなかった。

3. 4 組合せ能力の分析

一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値の範囲と、遺伝分散成分から求めた遺伝率の推定値を各形質ごとに表7～9に示した。

山地試験地の5年生および10年生時の傾幹幅と平坦地試験地の7年生時の傾幹幅について、組合せ能力の推定値を付表に示す。山地試験地の10年生時における傾幹幅との相関が高く、かつ狭義の遺伝率が高かった二年生枝の枝数、二年生枝の長さ、根株引抜き抗力および幹のヤング率についても、組合せ能力の推定値を付表に示す。

山地試験地の5年生および10年生時の傾幹幅については、他の形質と比べて比較的大きな狭義の遺伝率が推定された(表7)。推定された傾幹幅の一般組合せ能力の最大値と最小値の差(変異幅)は、5年生時には8.2cmであり、10年生時には0.99cmであった(表7)。ただし、10年生時の値は指数値である。定義により、指数値の1の変動は、傾幹幅の25cmの変動に相当する。10年生時の傾幹幅についての一般組合せ能力の変異幅は約25cmであり、5年生時の変異幅よりも大きくなっている。

平坦地試験地で測定した形質のうち比較的高い狭義の遺伝率が推定されたのは、傾幹幅、幹のヤング率、二年

生枝の数、二年生枝の長さ、二年生枝の岐出角度、根株引抜き抗力である（表 8、9）。

山地試験地の 10 年生時および平坦地試験地の傾幹幅との間で比較的相関が高かった、二年生枝の長さと根株引抜き抗力については、特定組合せ能力の推定値の変異幅と比べて、一般組合せ能力の推定値の変異幅が大きかった。

表 7 山地試験地における交配家系の一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値

形 質	5 年 生 時				10 年 生 時				
	生存率 (%)	樹 高 (m)	傾幹幅 (cm)	幹折れ (%)	生存率 (%)	樹 高 (m)	胸高直径 (cm)	傾幹幅 (指数)	幹折れ (%)
一般組合せ能力 最大値	4.8	0.15	5.4	2.7	4.5	0.20	0.39	0.49	2.9
〃 最小値	-3.8	-0.07	-2.8	-3.5	-4.2	-0.13	-0.20	-0.50	-3.3
特定組合せ能力 最大値	4.4	0.11	2.2	1.6	4.9	0.17	0.42	0.21	2.5
〃 最小値	-2.8	-0.09	-1.3	-3.3	-4.2	-0.15	-0.31	-0.13	-3.5
狭義の遺伝率	0.164	0.094	0.490	0.150	0.136	0.054	0.037	0.496	0.115

注) 10 年生時の傾幹幅は、指数値。

表 8 平坦地試験地における交配家系の一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値

形 質		樹 高	胸高直径	傾幹幅	樹冠直径	幹の 細り比	幹の ヤング率
		(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(%)	(gf/cm ²)
一般組合せ能力 最大値		0.54	0.22	13.1	18.0	6.3	3.4
〃 最小値		-0.41	-0.27	-12.2	-6.2	-4.2	-2.0
特定組合せ能力 最大値		0.25	0.46	8.6	7.4	3.4	1.5
〃 最小値		-0.35	-0.53	-7.3	-10.6	-4.5	-1.9
狭義の遺伝率		0.184	0.036	0.439	0.175	0.166	0.460

注) ヤング率は、10 年生時の調査値、他の形質は 7 年生時の調査値である。

表 9 平坦地試験地における交配家系の一般組合せ能力と特定組合せ能力の推定値

形 質		二 年 生 枝				根 系		
		数 (本)	直 径 (mm)	長 さ (cm)	角 度 (°)	引抜き 抗力(tf)	最大根径 (cm)	三大根径 (cm)
一般組合せ能力 最大値		1.6	0.1	2.5	3.1	0.24	1.35	3.11
〃 最小値		-1.2	-0.2	-1.3	-7.1	-0.18	-1.24	-1.57
特定組合せ能力 最大値		2.3	0.2	1.0	2.5	0.14	5.21	4.37
〃 最小値		-1.9	-0.2	-0.7	-3.7	-0.15	-2.96	-2.67
狭義の遺伝率		0.340	0.176	0.529	0.504	0.422	0.030	0.066

付表 主要形質についての組合せ能力の推定値

1. 山地試験地, 5年生時の傾幹幅(cm)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	-2.53	0.65	-0.18	-0.16	-0.31
山形3	0.65	-1.53	1.68	-1.06	-1.27
東蒲原5	-0.18	1.68	1.52	-0.93	-0.57
中頸城6	-0.16	-1.06	-0.93	5.37	2.15
村松1	-0.31	-1.27	-0.57	2.15	-2.83

2. 山地試験地, 10年生時の傾幹幅(指数)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	-0.11	-0.07	-0.12	0.07	0.12
山形3	-0.07	-0.21	0.21	0.00	-0.13
東蒲原5	-0.12	0.21	0.32	-0.09	0.00
中頸城6	0.07	0.00	-0.09	0.49	0.02
村松1	0.12	-0.13	0.00	0.02	-0.50

3. 平地試験地, 7年生時の傾幹幅(cm)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	-12.18	-1.11	2.73	-7.28	5.67
山形3	-1.11	-3.78	-4.87	1.89	4.09
東蒲原5	2.73	-4.87	9.38	8.64	-6.50
中頸城6	-7.28	1.89	8.64	13.05	-3.25
村松1	5.67	4.09	-6.50	-3.25	-6.46

4. 平地試験地, 7年生時の二年生枝の枝数(本)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	0.56	-1.81	0.25	1.81	-0.25
山形3	-1.81	-0.33	-0.36	-0.14	2.31
東蒲原5	0.25	-0.36	-1.22	0.25	-0.14
中頸城6	1.81	-0.14	0.25	1.56	-1.92
村松1	-0.25	2.31	-0.14	-1.92	-0.56

5. 平地試験地, 7年生時の二年生枝の長さ(cm)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	0.15	-0.47	0.92	-0.25	-0.21
山形3	-0.47	-1.25	-0.50	-0.02	0.99
東蒲原5	0.92	-0.50	-0.33	0.31	-0.74
中頸城6	-0.25	-0.02	0.31	2.50	-0.04
村松1	-0.21	0.99	-0.74	-0.04	-1.08

6. 平地試験地, 7年生時の根株引抜き抗力(tf)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	99.44	67.36	74.31	4.86	-146.53
山形3	67.36	28.61	-159.03	67.36	24.31
東蒲原5	74.31	-159.03	-182.50	-54.86	139.58
中頸城6	4.86	67.36	-54.86	-183.89	-17.36
村松1	-146.53	24.31	139.58	-17.36	238.33

7. 平地試験地, 10年生時のヤング率(g/cm²)

♀\♂	酒田3	山形3	東蒲原5	中頸城6	村松1
酒田3	-0.56	-0.73	-0.74	0.59	0.88
山形3	-0.73	1.01	0.13	2.13	-1.53
東蒲原5	-0.74	0.13	-2.14	-1.38	1.99
中頸城6	0.59	2.13	-1.38	-1.65	-1.34
村松1	0.88	-1.53	1.99	-1.34	3.34

注) □: 一般組合せ能力, 他は特定組合せ能力の推定値を示した。

4 考察

樹高, 胸高直径, 傾幹幅の家系平均値に関しては, 山地試験地と平地試験地の間に, 比較的高い有意な相関が認められた。このことから, 樹高, 胸高直径および傾幹幅は, ある程度遺伝的な要因に支配されていると考えられる。

山地試験地の5年生時, 10年生時および平地試験地の傾幹幅に関しては, 一般組合せ能力は有意であったが, 特定組合せ能力は有意でなかった。

傾幹幅の狭義の遺伝率は, 山地試験地の5年生時が0.490および10年生時が0.496(表7), 平地試験地の7年生時が0.439と比較的大きな値が推定され(表8), 試験地や年次間において大きな違いは認められなかった。これらのことから, 比較的若齢, 例えば山地試験地の5年生時のデータに基づいて根元曲りに関する早期検定を行うことも可能であると考えられる。さらに, 傾幹幅に関しては, 採種園方式で種苗の供給を行うことにより, 抵抗性種苗の普及を効率的に行うことができると考えられる。また, 交配などによる後代からの選抜を行うことに

より、遺伝的な改良を比較的容易に進めることができると期待される。

根元曲りの差異の原因として、根量の多少¹⁾、支持根の太さ¹⁸⁾ および平均根径の地際直径に対する比の大小²⁰⁾、一次根の成長^{3,9,10,11,12)} が影響していると言われる。また、幹の根元直径が太いクローンは、引抜き抗力が大きいという報告もある¹⁰⁾。本報告においても、傾幹幅と最大根径あるいは三大根径との間に、試験地内でも、試験地間でも、有意な相関が認められた(表6)。最大根径および三大根径は、根元曲り抵抗性と密接な関係のある重要な形質であることが確認された。ただし、最大根径と三大根径の遺伝率は、傾幹幅の遺伝率よりも小さかった。

根株引抜き抗力、幹のヤング率、二年生枝の枝数および枝の長さも、傾幹幅との相関が比較的高かった。これらの形質については、遺伝率も比較的大きかったことから、根元曲り抵抗性の指標として重要な形質と考えられる。

山地試験地における5年生時および10年生時の幹折れ被害率は、両方とも約23%で、両年次間の相関係数も $r=0.911$ と高かったことから、被害のほとんどは5年生時までに発生したものと考えられる。豪雪地帯の検定林では、幹折れの被害が1年生から5年生の時期に多く発生するという報告があり⁶⁾、今回の結果と一致する。

豪雪山地に植栽された要因交配家系においては、幹折れ被害率の高い家系は傾幹幅が小さいという傾向があることが報告されている²⁾ が、本報ではその傾向は認められなかった。このことには、植栽木や積雪環境の相違などが関与しているのかもしれない。この点については、早期検定の精度とも関連することから、今後の検討が必要である。

積雪地帯のスギ幼齢木に発生する幹折れなどの機械的な被害は、植栽木が埋雪する林分において低く、埋雪期を過ぎた林分で高い傾向にあると報告されている¹⁶⁾。スギの埋雪は、積雪深の2倍の樹高に達するまで続くと言われている¹⁷⁾。山地試験地の供試木は、平均積雪深約2mの2倍に達しない、平均樹高3.7mであり、供試木のほとんどは雪に埋もれているために、根元曲りや幹折れなどの被害の程度が過少に評価されている可能性がある。埋雪期を脱した時期に再度調査を行い、諸形質の遺伝パラメータの変化や年次相関を検討することが必要であろう。

引用文献

- 1) 井沼正之：森林の雪害と防除，遺伝，32(2)，2～7 (1978)
- 2) 向田 稔・寺田貴美雄・太田 昇：スギF₁にみる雪害の発現特性（予報），日林論，94，253～254 (1983)
- 3) 向田 稔・太田 昇：スギの雪害抵抗性検定法の開発（I）根系のクローンによる発現特性，日林東北支誌，37，80～81 (1985)
- 4) 向田 稔・寺田貴美雄・太田 昇：スギ精英樹家系群と雪害抵抗性候補木家系群の根元曲がりの違い，日林東北支誌，40，80～81 (1988)
- 5) 向田 稔・太田 昇・寺田貴美雄：スギ人工交配家系の造林初期における雪害抵抗性の発現様式，林育研報，第8号，147～161 (1990)
- 6) 向田 稔・太田 昇・寺田貴美雄：スギの幼齢期における雪害発生経過と系統間変異，日林東北支誌，42，216～217 (1990)

- 7) 西村慶二・山手廣太：九州のスギ精英樹における諸形質の遺伝，林育研報，第8号，163～168（1990）
- 8) 野原勇太・大河原昭衡・児玉武雄・青山安藏：スギの耐雪性品種に関する研究（第1報）スギの葉型ならびに樹型と冠雪量について，林試研報，161，1～112（1963）
- 9) 太田 昇・向田 稔：スギの雪害抵抗性検定法の開発（Ⅰ）根系のクローンによる発現特性，林木の育種，特集号，50～51（1982）
- 10) 太田 昇・向田 稔：スギの雪害抵抗性検定法の開発（Ⅰ）根系のクローンによる発現特性（2），日林東北支誌，34，153～155（1982）
- 11) 太田 昇・向田 稔：スギの根元曲りと根の発現形態，日林東北支誌，38，83～84（1986）
- 12) 太田 昇・向田 稔：スギの根元曲りの有無と根の発現実態，日林東北支誌，39，161～162（1987）
- 13) 林野庁：林木育種事業関係通達集—精英樹選抜育種事業実施要領—41～85（1994）
- 14) 林野庁：林木育種事業関係通達集—気象害抵抗性育種事業実施要領—87～113（1994）
- 15) 佐藤啓祐：スギ幼齢木の積雪期の倒伏とその回復に及ぼす断根の影響，日林東北支誌，30，161～162（1979）
- 16) 佐藤啓祐：雪害発生の動態からみた多雪地におけるスギ林の保育形式に関する二，三の考察，山形県林試研報，12，97～107（1981）
- 17) 四手井綱英：雪氷，32，128（1970）
- 18) 田中 周：スギの根曲りに関する調査，林野庁，58pp（1969）
- 19) 平 英彰：降雪初期の埋幹の違いがスギ幼齢木の根元曲りと生長に及ぼす影響，日林誌，64（12），453～460（1982）
- 20) 戸田清佐・山口清：スギ在来品種の耐雪性に関する調査（Ⅱ），日林中支講，28，85～87（1980）

**Juvenile expression of resistance to snow damage observed in
the diallel-crossed sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) families
in mountainside and flat field environments.**

Minoru MUKOUDA and Tomiyasu MIYAURA

summary

Seedlings of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) raised from seeds produced by the full-diallel matings of 5 plus-tree clones were planted on 2 study sites, one on a mountainside experiencing much snow fall and the other on a flat field experiencing little snow fall. The extent of stem inclination (ESI) was defined as an index of stem butt crookedness. The ESI and several other traits were measured at both test sites, and the relationship between ESI and other traits was examined to determine the traits genetically related to ESI. The general combining ability of ESI differed significantly between sites and specific combining ability of ESI did not significantly differ between sites. High values for both between-sites and between-age correlation for ESI were observed. Narrow sense heritability of ESI was estimated to be 0.439 to 0.496. Site and age had small effect on the heritability estimates. Narrow sense heritabilities of the resistance to uprooting, number and mean length of 2-year-old branches attached to the stem, and Young's stem modulus were in the range from 0.340 to 0.529. These traits were closely related to ESI (significant at 1% level).