スギの雪圧害抵抗性の遺伝特性

宮下 智弘^{*1}・向田 稔²・河崎 久男¹

宮下智弘・向田 稔・河崎久男：スギの雪圧害抵抗性の遺伝特性 日林誌 88：114~119, 2006 スギの雪圧害抵抗性の遺伝特性を研究するため、雪圧害に対する抵抗性個体と感受性個体を用いて要因交配を行った。得られた人工交配家系を検定林に植栽し、林齢が10年次に達した2000年に調査を行った結果、感受性個体を親とする家系の傾幹幅は大きく、特に雌親として感受性を用いた半兄弟家系では、雄親に関わらず全ての家系で傾幹幅の平均値が100 cm以上となった。傾幹幅については雌親間に有意差が認められたが、雄親間には認められなかった。傾幹幅における狭義の遺伝率は0.96と高い値を示した。調査対象とした全個体から、さらに優秀な個体を選抜したときの遺伝獲得量を試算した。その結果、傾幹幅の遺伝獲得量は約60 cmとなり、雪圧害に対する育種の効果は大きいことが期待された。

キーワード：育種, 交配家系, 雪害, 抵抗性, 根元曲がり

Miyashita, T., Mukouda, M., and Kawasaki, H.: Genetic Control of Resistance to Snow Damage in Sugi (*Cryptomeria japonica*). J. Jpn. For. Soc. 88: 114~119, 2006 To study the mode of inheritance of resistance to snow damage in sugi (*Cryptomeria japonica*), we crossed varieties that were resistant and sensitive to snow damage using a factorial design experiment. Progenies were investigated 10 years after the establishment of a progeny trial, and basal bending in the half-sib families of sensitive parents was found to be especially large. Regardless of the male parent, the mean basal bending was more than 100 cm in the half-sib families of the sensitive female parent. In basal bending, significant differences were observed between female parents, but not between male parents. The narrow-sense heritability in basal bending was 0.96. Furthermore, we estimated genetic gain using plural selection methods from all progenies. The genetic gain of basal bending was 60 cm. It was concluded that genetic improvement in resistance to snow damage using these crosses was effective.

Key words: basal bending, breeding, control-pollinated progenies, resistance, snow damage

I. はじめに

樹木に対する雪害は、冠雪害や雪圧害に代表される機械的雪害と、生育阻害や病害助長に代表される生理的雪害に大別される(小野寺, 1986)。この中で、針葉樹人工林に対して重大な被害を与える雪害は、主に冠雪害と雪圧害である(豪雪地帯林業技術開発協議会, 2000)。雪圧害は、幹割れや梢端折れなどの折損被害と、樹幹の根元部分が曲がる根元曲がり被害の二つに大別できる(豪雪地帯林業技術開発協議会, 2000)。これら雪圧害は、冬季間の積雪によって樹体に強力な圧力が加わることで生じる。雪圧害の中でも、特に根元曲がり被害は、根雪期間の長い東北地方等のスギ幼齢、若齢林において常習的に発生し、最も利用価値の高い一番丸太の根元部分が利用できず、その経済的損失は大きい(林野庁, 1969)。

雪圧害の発生メカニズムは以下のとおりである。まず、樹冠への着雪により樹幹が傾き、この状態で埋雪する(四手井, 1954; 佐藤, 1983)。融雪後から11月上旬までの間に、根系をともなつて根元から倒伏した樹幹は少しずつ立ち直る(平, 1985)。しかし、樹幹の立ち直り量は、樹幹上部よりも樹幹下部の方が少ない(平, 1985)ため、樹幹

は湾曲する。このような雪圧による樹幹の倒伏と、融雪後の立ち直りの繰り返しは、スギが冬季においても倒伏しない状態、つまり雪上木となるまでの十数年間、連年続き、これにより根元曲がりが発生する。

根元曲がりの抵抗性に関する要因としては、幹の曲げヤング係数(平, 1987; 平ら, 1990)、根元の回転係数と冠雪荷重(平, 1987)などがあるが、特に根の働きによるものは大きく、太い支持根をもった個体や土中に太い根を広範に伸ばす個体は根元曲がりが生じにくい(平, 1981; 太田・向田, 1986, 1987; 向田・宮浦, 1998)。幼齢期に常習的に発生する根元曲がりを防ぐため、多雪・豪雪地帯においては施肥、雪起こし、階段植栽、除間伐、枝打ち、裾枝払い等の育林技術を用いた対策(栗田・遠田, 1986; 野表, 1988)が実行されてきた。さらに、これらの対策に加え、育種的対応の要望の高まりから、昭和45年より国立林木育種場を主体とする気象害抵抗性育種事業が開始された(栄花・藤澤, 1998)。

雪圧害の抵抗性育種を進めるにあたり、根元曲がりなどのように遺伝するかを調べることは重要である。現在までに雪圧害抵抗性に関して、在来品種間(林野庁, 1969; 松浦, 1998)、精英樹クローン間(向田ら, 1988)、雪害抵抗

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: miya2000@affrc.go.jp

¹ (独)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)

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

² (社)林木育種協会 (999-3765 東根市神町南 2)

Japan Forest Tree Breeding Association, 2 Zinmachi-minami, Higashine 999-3765, Japan.

(2004年12月20日受付; 2005年10月20日受理)

性候補木クローン間(向田ら, 1988; 向田・宮浦, 2000)で根元曲がりに差があることが認められた。また, 精英樹間の交配家系(向田ら, 1990; 向田・宮浦, 1998)を用いた根元曲がりの遺伝様式を報告した例も若干ある。特に, 根元曲がりに対する抵抗性個体と感受性個体とを交配して得られた家系の根元曲がりを調べることは, その遺伝様式の基礎的な知見が得られると期待される。

そこで本研究では, 根元曲がりに対する抵抗性個体と感受性個体とを交配して得られた人工交配家系の根元曲がりを調べることにより, 根元曲がりの遺伝様式の基礎的な知見を得る。その後, これら交配家系から第二世代の抵抗性個体の選抜をシミュレーションし, 根元曲がりに対する遺伝獲得量を試算することで, 雪圧害抵抗性育種の効果を検討した。

II. 材料と方法

1. 材 料

気象害抵抗性育種事業(栄花・藤澤, 1998)により, 雪圧害の激害林分において根元曲がりが少なく成長の良い個体が, 雪害抵抗性候補木として選抜されている。また, 成長期においても倒伏していた個体を感受性個体として少数の個体が選抜された。本研究では, これら雪害抵抗性候補木の5クローンと, 感受性個体の2クローンを供試し, 表-1のようなデザインの要因交配を1987年に行った。得られた交配家系には表-1のような交配家系 No. を付与した。なお, 本報告では, 交配親に用いたクローンをそれぞれ表-1のとおり記号で論ずることとする。これらの記号は, 頭文字の F, M がそれぞれ, 雌親, 雄親であることを示し, R1~R3 および S は, 1~3 番目の抵抗性候補木クローン, および感受性クローンを示す。

2. 試験地と解析方法

交配家系を苗畑で育苗した後, 1990年に山形県真室川町に東耐雪秋田営26号検定林として植栽, 設定した。植栽時の苗齢は3年生である。検定林は南東向きの平衡斜面であり, 傾斜は約10度と緩く, 土壌型はB₀である。この検定林から10kmほど離れたところにある森林総合研究所東北支所山形試験地構内において, 1978年から1991年までの間に最深積雪深が記録されている。この記録によると, 最深積雪深の値は81cmから231cmまでであり, 平均して151cmであった。各プロットは列状プロットに

よって構成されており, 各プロットには, 交配家系ごとに1列25個体を2列, 計50個体を植栽している。各プロットに対する家系の割り当てはランダムに配置している。ブロック数は3である。植栽後, 下刈り, 除伐, つる切りを行っているが, 雪起こしなどの雪害防除を目的とした施業は行っていない。林齢が10年に達した2000年9月に調査を行った。各プロットの前後それぞれ5行内に植栽された計20個体は, 試験地の周囲に植栽されていることから環境条件が一定でない恐れがあったため, これらを除いた30本を標本調査した。調査対象個体は, 樹高1.2m以上の個体とした。調査形質は樹高, 胸高直径, 傾幹幅, 折損, 倒伏, 枯損である。傾幹幅は植栽原点から樹幹中心部までの水平距離を地上高1.2mにおいて測定した値である(図-1)。梢端折れや幹折れなど, 雪による物理的な折れ被害をその被害の大小に関係なくすべて折損と定義した。また, 傾幹幅が1.2m以上の個体, および, 幹長が1.2m以上でありながら地上高1.2m以下で横たわった個体を倒伏個体と定義した。

測定データをもとに, 傾幹幅に対して分散分析を行った。なお, 用いたデータは, 生存個体のうち, 傾幹幅が測定不能となる地上高1.2m以下で横たわった倒伏個体を除いたものである。

分散分析を行うにあたり, 各個体値は以下の式に従うと仮定した(Zobel and Talbert, 1984; 栗延・千吉良, 2000)。

$$y_{ijkl} = \mu + r_i + f_j + m_k + c_{jk} + rc_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

ここで, y_{ijkl} , μ は, それぞれ個体の測定値, 集団の平均である。また, r_i , f_j , m_k , c_{jk} , rc_{ijk} , ϵ_{ijkl} は, それぞれ反復, 雌親, 雄親, 雌親×雄親, 反復×組み合わせの各効果と誤差である。

遺伝分散の推定値をもとに個体の狭義の遺伝率を計算した。遺伝率は以下の式によって計算した(Zobel and Tal-

図-1. 傾幹幅の測定法

表-1. 要因交配に供試したクローン名とそれを示す記号, および交配家系の家系番号

♀\♂ 記号	記号 クローン名	MR1 秋田営 17	MR2 前橋営 3	MR3 秋田県 20	MS 起立不西村山 1
FR1	山形県 74	1	2	3	4
FR2	山形県 76	5	6	7	8
FS	起立不西村山 5	9	10	11	12

MR1~MR3 は, 1~3 番目の雄親の抵抗性候補木クローン。MS は, 雄親の感受性クローン。FR1, FR2 は 1 番目, 2 番目の雌親の抵抗性候補木クローン。FS は雌親の感受性クローン。

bert, 1984; 栗延・千吉良, 2000)。

$$h^2 = (2\sigma_i^2 + 2\sigma_m^2) / (\sigma_i^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{fm}^2 + \sigma_{rc}^2 + \sigma_e^2)$$

ここで、 h^2 は個体の狭義の遺伝率を表し、 σ_i^2 、 σ_m^2 、 σ_{fm}^2 、 σ_{rc}^2 、 σ_e^2 はそれぞれ雌親間、雄親間、雌親×雄親、反復×組み合わせ、誤差の分散である。なお、以上の解析は SAS の glm プロシージャを用いて解析した。

推定した遺伝率をもとに、交配家系の中から優秀な個体を選抜した場合の遺伝獲得量を試算した。選抜条件としては、傾幹幅のみに注目し、その値が 30 cm 以下の個体とした。30 cm という値は、林齢 10 年ごろの平均的なサイズをもつスギ植栽木にみられる根元曲がり量を考えた場合、その程度が比較的少ないと考えられる値として筆者らが便宜的に決定したものである。選抜方法として、①半兄弟の重複を容認して全家系から傾幹幅が 30 cm 以下の個体を選抜する方法と、②傾幹幅の交配家系平均値が小さい家系を親が重複しないように複数選抜した後、選抜家系群の全個体から傾幹幅が 30 cm 以下の個体を選抜する方法を考えた。②の方法の場合、家系数を増やすことでその選抜家系群の平均値がどの程度減少するかという点と、選抜圧の 2 点を考慮した上で家系数を決めることとした。この両者の選抜方法によって、傾幹幅における遺伝獲得量を試算した。遺伝獲得量は以下の式を用いて計算した。

$$\Delta G = h^2 \times (P_1 - P_0)$$

ここで、 P_1 、 P_0 はそれぞれ選抜個体集団の傾幹幅平均値、全個体の傾幹幅平均値を表している。また、 h^2 、 ΔG はそれぞれ、傾幹幅の遺伝率、遺伝獲得量を表している。

III. 結 果

1. 折損被害と倒伏被害との相関関係

全調査個体の生存率は 69.8% であり、これらの樹高、胸高直径、傾幹幅の平均値±標準偏差は、5.0±1.2 m、8.3±2.5 cm、83.0±57.3 cm であった (表-2)。根元曲がり量は林分平均樹高が最深積雪深の 2 倍に達するまで発生すること

表-2. 全 12 交配家系の調査形質平均値

		MR1	MR2	MR3	MS	平均
FR1	生存率 (%)	60.0	73.3	78.9	68.9	70.3
	樹高 (m)	5.0	4.9	5.1	4.8	4.9
	胸高直径 (cm)	9.0	9.2	8.5	8.1	8.7
	傾幹幅 (cm)	52.8	63.1	48.0	94.5	64.3
FR2	生存率 (%)	72.2	66.7	77.8	72.2	72.2
	樹高 (m)	4.9	5.0	5.8	5.2	5.2
	胸高直径 (cm)	8.4	8.4	9.2	8.1	8.5
	傾幹幅 (cm)	58.4	48.7	46.8	68.0	55.5
FS	生存率 (%)	61.1	85.6	61.1	60.0	66.9
	樹高 (m)	5.0	4.5	5.0	4.5	4.7
	胸高直径 (cm)	7.9	7.7	7.9	6.7	7.5
	傾幹幅 (cm)	107.4	133.5	132.9	155.1	132.2
平均	生存率 (%)	64.4	75.2	72.6	67.0	69.8
	樹高 (m)	5.0	4.8	5.3	4.8	5.0
	胸高直径 (cm)	8.4	8.4	8.6	7.7	8.3
	傾幹幅 (cm)	72.1	85.6	71.4	103.0	83.0

が報告されており (四手井, 1954)、さらに本検定林から 10 km ほどの場所で測定された気象観測データによれば、最深積雪深の最大値は 2.3 m であったことから、これら交配家系の根元曲がり量は安定期に入ったと考えられる。

折損被害と倒伏被害について、家系ごとにその発生頻度を図-2, 3 にそれぞれ示した。雌親別にみると、FR1 を雌親とする半兄弟家系では折損被害が多かった。雄親については、各親ごとの傾向は見受けられなかった。倒伏被害においては FS の半兄弟家系に多かったが、その中でも MR1 との全兄弟家系では相対的に倒伏個体数が少なかった。各交配家系の折損と倒伏の被害個体数を用いて Kendall の順位相関係数を求めたが、この値は有意でなかった ($\tau = -0.41$, $p > 0.05$) (図-4)。

2. 交配家系別の傾幹幅の頻度分布

各交配家系における傾幹幅の頻度分布を図-5 に示す。なお、図中の傾幹幅 120 cm 以上の個体は、倒伏個体である。雌親が抵抗性候補木であり、雄親が感受性個体の交配

図-2. 折損個体の雌親別、雄親別の頻度分布

図-3. 倒伏個体の雌親別、雄親別の頻度分布

図-4. 各交配家系の折損本数と倒伏本数との関係

図-5. 各交配家系における傾幹幅の頻度分布

傾幹幅は植栽原点から樹幹中心部までの水平距離を地上高 1.2 m において測定した値である。また、各頻度分布の配置は、表-1 の配置と同じである。

表-3. 傾幹幅に対する分散分析結果

要因	自由度	平均平方	F 値
雌親間	2	421735.1	58.14**
雄親間	3	33132.8	4.56 ^{N.S.}
雌親×雄親	6	7277.7	1.17 ^{N.S.}
組み合わせ×反復	22	5894.0	3.41**
誤差	718	1729.4	

**, 1%水準で有意; N.S., 有意差は検出されない。

家系（交配家系 No. 4, 8）では、傾幹幅の値が大きくなった。雌親が FR1, 雄親が抵抗性候補木である家系の平均値は 48.0~63.1 cm であり、雄親が感受性個体の家系（交配家系 No. 4）ではその値は 94.5 cm となった（表-2）。同様に、雌親が FR2, 雄親が抵抗性候補木である交配家系の傾幹幅平均値は、46.8~58.4 cm であったが、雄親が感受性個体の家系（交配家系 No. 8）ではその値が 68.0 cm となった。FS の半兄弟家系は、雄親に関わらずすべての交配家系の傾幹幅平均値が 100 cm 以上となった。この半兄弟家系の中で特に、MR1 との全兄弟家系以外のすべての家系では、調査した生存個体の 70%以上が倒伏個体であった。

3. 遺伝パラメータと遺伝獲得量

傾幹幅について分散分析を行い、得られた分析結果を表-3 に示す。その結果、雌親間では有意差が認められ、雄親間については有意差が認められなかった。また、雌親と雄親との交互作用は認められなかった。さらに、雌親

表-4. 分散分析により推定された各要因の分散成分と、それをもとに算出された各種遺伝パラメータの推定値

分散成分	推定値
σ_i^2	1673.0
σ_m^2	138.5
σ_{im}^2	17.3
σ_{rc}^2	204.7
σ_e^2	1729.4
遺伝パラメータ	
σ_a^2	3623.0
σ_d^2	69.1
σ_p^2	3762.8
h^2	0.963

σ_i^2 , σ_m^2 , σ_{im}^2 , σ_{rc}^2 , σ_e^2 は、雌親間、雄親間、雌親×雄親、反復×組み合わせ、誤差の分散をそれぞれ表している。 σ_a^2 , σ_d^2 , σ_p^2 , h^2 は、相加遺伝分散、非相加的遺伝分散、表現型分散、遺伝率を表し、以下の式により算出した。

$$\sigma_a^2 = 2(\sigma_i^2 + \sigma_m^2), \sigma_d^2 = 4\sigma_{im}^2, \sigma_p^2 = \sigma_i^2 + \sigma_m^2 + \sigma_{im}^2 + \sigma_{rc}^2 + \sigma_e^2, h^2 = \sigma_a^2 / \sigma_p^2.$$

間、雄親間、雌×雄の交互作用、組み合わせ×反復の交互作用、誤差についてそれぞれ分散成分を推定し、その値から算出された各種遺伝パラメータを表-4 に示す。その結果、全分散のうちの約 50%を雌親間分散が占めていた。また、傾幹幅における個体の狭義の遺伝率は、0.96 と高い値が推定された。

これら交配家系から根元曲がりの少ない個体を選抜するシミュレーションを試みた。選抜基準としては、上述の①と②の二つの方法で行った。

図-6. 選抜された個体に対する雌親および雄親の寄与率

左円グラフが全選抜個体の雌親別の寄与率を示し、同様に右円グラフが全選抜個体の雄親別の寄与率を示す。

①の場合、選抜された個体数は157個体で、選抜率（選抜個体数/全調査個体数）は20.8%となった。①の方法による傾幹幅の遺伝獲得量は、60.2 cmであった。選抜個体の両親の寄与率を雄親、雌親ごとに図-6に示す。ここで寄与率とは、全選抜個体の各雌親の割合、および、全選抜個体の各雄親の割合である。雌親に関してはFR2の半兄弟が全選抜個体の52.2%、雄親に関してはMR3の半兄弟が42.7%選抜され、①の方法の場合、優秀な特定の親が関与する家系が多く選抜された。

次に、上述した②の方法による選抜を試みた。今回の交配デザインは雌親3親、雄親4親の要因交配であるため、選抜される血縁関係のない家系は、最大で3家系である。具体的に選抜される家系は、最も傾幹幅の小さい家系No. 7であり、次に、血縁関係がなく傾幹幅が小さい家系No. 1、同様に、家系No. 10となる。家系No. 7（傾幹幅平均値=46.8 cm）と、家系No. 1とNo. 7をあわせた集団（傾幹幅平均値=49.4 cm）の平均値には大きな差はなかったが、続いてNo. 10を選抜した場合、その集団の傾幹幅平均値は81.6 cmと激増してしまった。このことから選抜家系は家系No. 1と7の2家系とした。この集団の中で傾幹幅が30 cm以下の個体を選抜すると、選抜された個体数は50個体となり、選抜率は6.6%と強い選抜率となった。①の方法による傾幹幅の遺伝獲得量は60.7 cmであった。なお、①の方法によって選抜された集団の樹高と直径の平均値はそれぞれ5.7 mと9.9 cmであり、②の方法によって選抜された集団の樹高と直径の平均値はそれぞれ6.2 mと10.5 cmであった。

IV. 考 察

ある形質に対する親の影響が、どのような形で子に現れるかを観察するには、親のばらつきを大きくした交配家系のデータを用いて検討するのが適当と考えられる。そこで本研究では、雪害抵抗性候補木と感受性個体を用いた交配家系のデータを用いて検討した（図-5）。この中でも特にFSの半兄弟家系は、雄親の種類に関係なくすべての家系で全調査個体の過半数が倒伏個体であった。また、雌親が抵抗性候補木の半兄弟家系では、MSとの全兄弟家系において傾幹幅平均値が増大した。さらに抵抗性候補木間の交

配家系でも、MR3の半兄弟家系では傾幹幅が小さいなどの、傾幹幅に対する親のさまざまな影響が認められた。

これらのことから、傾幹幅に対して、親の能力は子の能力に強く影響を与えと考えられた。このような形質の場合、狭義の遺伝率は高い値を示す。今回推定された傾幹幅における個体の狭義の遺伝率は0.96であった。遺伝率は理論上、1より大きな数値にならない。このため、今回得られた遺伝率はかなり高く、過大推定されている恐れもある。これは、傾幹幅に対する親のばらつきを意図的に大きくした交配設計に原因があると考えられる。狭義の遺伝率は、表現型分散に対する相加遺伝分散の割合と表されるが、相加遺伝分散は親間分散によって与えられる（向井, 1978）。このため、根元曲がりに対する親の能力に大きなばらつきが存在すると、遺伝率は高くなる。しかし、10年次精英樹交配家系の傾幹幅における狭義の遺伝率は、0.34（向田ら, 1990）、0.49（向田・宮浦, 1998）と、樹高などの成長形質と比べると、やはり高い値を示している。さらに図-5のように、各交配家系にみられた傾幹幅の大きさは、親の傾幹幅に対する能力を強く反映している。以上のことから、傾幹幅の狭義の遺伝率は、成長形質などと比べて高いと考えるのが妥当であろう。

狭義の遺伝率が高いということは、相加遺伝分散が大きいということである。相加遺伝分散が大きい形質の場合、育種の効率は高いと考えられる。また、相加遺伝分散が大きいため、優れた親からは優れた子が生まれると期待される。このため、優れた親で構成される採種園によって種子を生産し、遺伝的に改良された苗木を得るという種苗供給システムが適すると考えられる。

遺伝的な改良の度合いを示す指標として、遺伝獲得量がある。本研究では、雪圧害抵抗性に対する育種が、傾幹幅にどれほどの効果があるかを検討するため、遺伝獲得量を試算した。その結果、①、②の方法とも、傾幹幅に対する遺伝獲得量は約60 cmと大きく改善され、雪圧害に対する育種は有効であることもわかった。

しかし、両方法とも傾幹幅の遺伝獲得量に大きな違いはみられなかったものの、選抜集団の血縁関係をみると、①の場合、選抜個体の多くが特定の親の半兄弟であることが示され、特定の優秀な親が関与している場合にはその近縁の系統ばかりが選抜される恐れがあることがわかった。一方、②の場合、その選抜方法の特性から、血縁関係のない組み合わせが必ず選抜されるが、選抜圧は極端に強くなった。これは、今回の解析では両親の数が少ないために、血縁関係が互いに独立な組み合わせが最大3組み合わせしか選べないということと、両親に感受性個体が含まれていたために選抜家系数が2組み合わせのみでも妥当であると判断せざるをえなかったということが、選抜圧を強くしてしまった要因と考えられる。今後は、交配家系の数を多くしたときの選抜法が今回の結果と同様の傾向を示すかを検討する必要がある。

一方、雪圧害には根元曲がりの他に、折損被害もある

(豪雪地帯林業技術開発協議会, 2000)。雪圧害抵抗性育種を考える場合、根元曲がり抵抗性だけでなく、折損被害抵抗性も兼ね備えた品種を作ることは重要であろう。そもそも雪圧害は、降雪初期の樹冠に着雪する冠雪の重みによって、倒伏状態のまま埋雪することから発生する(四手井, 1954; 佐藤, 1983)。このとき、冠雪の重さ、あるいは埋雪時の沈降圧、葡行圧に対して、柔軟な個体は樹体を曲げることで折損を防ぐが、樹体の曲がりにくい個体はこれらの力を受け流すことができずに折損を受ける。過去の研究例では、折損率と傾幹幅との間には負の相関関係が認められている(平, 1988; 向田ら, 1990; 平ら, 1990)。このような相反する関係をもった二つの形質について、両形質がともに優れている個体を選抜・育種することは難しいのかもしれない。

しかし本研究では、根元曲がりと折損被害との関係を検討した結果、両者の間に負の相関関係は認められなかった(図-4)。なお、本研究では傾幹幅が測定不能となる地上高1.2 m以下で横たわった倒伏個体が存在したため、家系ごとの傾幹幅平均値と折損率との間の相関関係ではなく、倒伏個体数と折損個体数との間の相関関係を調べている。図-4を詳細にみると、FR1の半兄弟家系は倒伏しにくい折損しやすい家系であり、FSの半兄弟家系では折損しにくい倒伏しやすい家系であると考えられ、この両家系だけに注目すると負の相関関係が認められる($r = -0.67$, $p < 0.05$)。これは逆に考えると、FR2の半兄弟家系は相関関係からはずれていることを示しており、一定の条件下では、根元曲がりと折損の両被害に対する抵抗性を兼ね備えた系統の存在を示唆している。このような根元曲がりと折損に対して、両抵抗性をもつ系統を開発することは、雪圧害抵抗性育種を進めるにあたり重要となる。

本研究により、多雪・豪雪地帯に常習的に発生するスギの雪圧害に対し、育種による対策が有効である一事例が示された。しかし、雪圧害に対する遺伝学的、育種学的な報告がいまだ少なく、さらに本研究の解析結果が一検定林のみであり、かつ、供試系統も感受性と抵抗性という特殊なものであることなどから、雪害抵抗性に対する育種を進めるに当たっては、今回の解析結果と同様の傾向が他の交配組み合わせにも認められるか、あるいは地域間、立地間によって結果が異なるかなどについても研究を進める必要がある。

検定林の設定・調査の際には山形森林管理署最上支署の

関係各位にご協力いただいた。また、本稿の執筆にあたり林木育種センター東北育種場の中田了五研究室長からの確かなアドバイスをいただいた。この場を借りて上記の方々に感謝申し上げる。

引用文献

- 栄花 茂・藤澤義武 (1998) 気象害抵抗性育種事業の背景と実施経過. 林育研報 15: 113-119.
- 豪雪地帯林業技術開発協議会 (2000) 雪国の森林づくり. 189 pp, 日本林業調査会, 東京.
- 栗延 晋・千吉良治 (2000) 篤林家による精英樹交配家系からの優良個体の選抜 (III) 一壮齡期のスギ検定林における成長及び通直性の遺伝率の推定値一. 林育研報 17: 177-188.
- 栗田 稔美・遠田 武 (1986) 積雪地帯における森林造成技術IV 雪害回避を考慮した育林技術. 林試東北支場年報 27: 99-102.
- 松浦崇遠 (1998) 富山県における主要なスギ挿し木品種の成長特性と耐雪性. 富林技研報 11: 7-19.
- 向井輝美 (1978) 集団遺伝学. 274 pp, 講談社, 東京.
- 向田 稔・宮浦富保 (1998) 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. 林育研報 15: 227-241.
- 向田 稔・宮浦富保 (2000) 東北育種基本区におけるスギ雪害抵抗性の検定と遺伝様式に関する研究一雪害抵抗性検定林10年次データを用いたスギ雪害抵抗性候補木の抵抗性形質の解析一. 林木育種センター東北育種場年報 30: 133-141.
- 向田 稔・寺田貴美雄・太田 昇 (1988) 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: 84-85.
- 向田 稔・太田 昇・寺田貴美雄 (1990) スギ人工林の造林初期における雪害抵抗性の発現様式. 林育研報 8: 147-161.
- 野表昌夫 (1988) 多雪地帯の育林技術と雪害軽減効果 (施業地の現状分析). 森林立地 XXX (1): 20-23.
- 太田 昇・向田 稔 (1986) スギの根元曲りと根の発現形態. 日林東北支誌 38: 83-84.
- 太田 昇・向田 稔 (1987) スギの根元曲りの有無と根の発現実態. 日林東北支誌 39: 67-69.
- 小野寺弘道 (1986) 積雪地帯における森林造成技術I 造林地の雪害. 林試東北支場年報 27: 84-89.
- 林野庁 (1969) スギの根曲りに関する調査. 57 pp. 林野庁, 東京.
- 佐藤啓祐 (1983) スギ幼齡林内における積雪グライドと造林木の倒伏. 雪と造林 5: 13-15.
- 四手井綱英 (1954) 雪圧による林木の雪害. 林業試験場研究報告 73: 1-89.
- 平 英彰 (1981) 根元曲がり抵抗性個体と考えられるスギさし木苗の特徴. 29 回日林中支講: 141-144.
- 平 英彰 (1985) スギ幼齡木の根元曲がり形成過程. 日林誌 67: 11-19.
- 平 英彰 (1987) スギ雪害抵抗性個体の特性について. 林木の育種 143: 19-23.
- 平 英彰 (1988) 積雪環境とスギの雪害発生機構. 森林立地 XXX (1): 14-19.
- 平 英彰・嘉渡昭夫・中谷 浩 (1990) スギの根元曲がり抵抗性. 日林誌 72: 7-33.
- Zobel, B. and Talbert, J. (1984) Applied forest tree improvement. 505 pp, John Wiley & Sons, New York.