

精英樹系統と雪害抵抗性系統の交雑に関する研究

佐々木 揚

Selection of Elite Tree of Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) with Resistance to Snow Damage
in Akita Prefecture

Yoh SASAKI

要 旨

根元曲りが少なく、かつ成長が優れたスギを品種開発するため、自然交配家系（花粉樹は不特定）と特定の花粉樹および母樹による人工交配家系を設計し、線形計画法に基づいた次代検定林の調査および遺伝解析を行なった。その結果、分散分析から得られる最小二乗推定値に基づいて精英樹（15年次）から23、樹高/傾幹幅の選抜手法に基づき、雪害抵抗性候補木（15年次）から23、交雑系統（10年次）から15優良系統を選抜した。

． はじめに

民有林のスギ人工林面積が全国一を誇る秋田県において、スギは木材生産の基幹樹種である。また、本県は積雪寒冷地に位置しており、これまで様々なスギの雪害が発生している。スギの雪害としては、雪が枝葉に附着した雪の重みによる幹の割れや折れなどの冠雪害と、幹の根元部分が曲がってしまう雪圧害とに分けることができる。冠雪害は、樹高と幹の比率であらわされる形状比が60以下なら安全で、90を越えると被害が大きくなると言われるが、これは除伐や間伐などの森林管理施策によって回避可能と考えられている（5）。一方、雪圧害は、最も被害が顕著な根元曲りを根踏みや雪起こしなどの施策によってある程度抑えられるが（28）、例えば1ヘクタールに3,000本植栽した場合、毎年の施策は大変な重労働となる。そして、これらの施策によって根元曲りが完全に解消されるわけではないため、遺伝的改良は保育管理省力化の一助になると考えられている。

根元曲りは、冬期間に埋雪した樹体が翌春に不完全ながら立ち直るものの、複数年経過することにより、幹の根元部分が回復不可能となり、幹の根元部分が弓状に湾曲する気象災害である。本県では木材の利用面からスギの傾幹幅は少なくとも1 m以下、できれば0.5 m以下にすることが望ましいとされている（5）。この根元曲がり被害の程度は、積雪量が大きくなるにつれて増加し（7）、県内では標高が高くなればなるほど、また、県北より県南で大きい（5）。また、根元曲りに大きく影響する気象因子として最深積雪量が知られており、最深積雪量が1 m以下の地域では概ね傾幹幅が0.5 m以下になるものの、県全体でみると最深積雪量1 m以上が大部分を占めており（5）、根元曲がり対策は全県的な研究課題といえる。今後、地球温暖化により、日本海の海水温度が上昇して冬季に寒気団が流入すると、海面から上昇した水蒸気は冷却されて降雪量が増加し、さらに多くの湿雪が降るようになると日本海側の山沿いでは根元曲りの拡大が懸念される。

この根元曲りは、枝の先端部が雪面から脱出するまで樹高成長が遅滞するばかりでなく、材の利用効率を著しく低下させ、スギ丸太の歩留まりを大きく損ない、木材の狂いや強度低下の原因となるアテ材を形成し、産業上の不利益にもつながることから、育種による改良効果が期待されている(7,9)。梶原は、愛媛県の久万市場のスギ原木のおよそ半分が曲がり材であり、曲がり材は通直材の6割程度と評価している(10)。また、スギと同じ針葉樹のヒノキでは、根元の1m位に曲がりがあると材価全体で通直材の70%、3m位に曲がりがあると45%に低下するとしている(22)。これは材として最も価値の高い一番玉の材価が低下するためである。

スギの品種によって根元曲がりの程度が異なり、育種による改良効果が示唆されたこと(8)、単木的には成長量の増大が傾幹幅の回復助長につながる(35)ことが知られている。当センターでは、昭和60年から成長が優れる精英樹系統と雪害に強い雪害抵抗性系統を交配し、両系統の長所を併せ持つ「成長が優れ、かつ根元曲りが少ないスギ」の品種開発に着手した(2)。本研究報告では、一般交配による検定林調査結果を基に、成長および根元曲がり形質の遺伝様式を育種学的に解析し、優良系統を選抜するとともに多雪地に適した育種種子の採種園による生産・供給について考察した。

・ 方法

1) 雪害抵抗性の次代検定林

雪害が生じる県南部の多雪地に、雪害抵抗性候補木65系統を、次代検定林東耐雪秋県3,4号として精英樹選抜事業に準じて設定した(表-1)。

表-1 雪害抵抗性候補木計65家系を植栽した検定林の概況

| 検定林名(号) | 所在地 | 面積 (ha) | 植栽 本数 | 本数/ ha | 設定 年 | 林齢 (2008) | 系統 数 | 標高 (m) | 方位 | 傾斜 (度) | 土壌型 | 北緯 | 東経 | 最深積雪 (cm) |
|---------|--------|------------|----------|-----------|---------|--------------|---------|-----------|----|-----------|-----|-------|--------|--------------|
| 東耐雪秋田県3 | 横手市山内大 | 1.5 | 4,900 | 3,267 | S62 | 21 | 33 | 440 | 南 | 15 | BD | 39.22 | 140.38 | 259 |
| 東耐雪秋田県4 | 松川字向大台 | | 5,000 | 3,333 | | | 34 | 423 | | 10.7 | | | | |

本研究では、枯損木と折損木を除いた個体について、10年次と15年次の調査によって得られた樹高、胸高直径および根元曲がりの指標である傾幹幅(植栽部位の胸高部位から水平に延ばして幹に達するまでの長さ)から、胸高直径の二乗値と樹高の積 $d2H$ についてブロック毎に家系のプロット平均値を算出した。検定林の精英樹家系の評価は以下の線形式をモデルとし、プログラム Lsab02vb(18)によって分散分析し、分散成分、最小二乗推定値を計算した(13)。

$$x_{ij} = \mu + i + j + e_{ij}$$

ここで、 x_{ij} は i 番目のブロックの j 番目の家系のプロット平均値、 μ は全体の平均、 i は i 番目のブロックによる反復効果、 j は j 番目の家系の効果、 e_{ij} は i 番目のブロックの j 番目の家系のプロット平均値の誤差である。また、家系の反復率 (R_c) を分散分析によって求められた平均平方の期待値から次式によって推定した。

$$Rc = f^2 / (f^2 + e^2)$$

ここで、 f^2 は家系の分散成分、 e^2 は誤差成分である。

2) 精英樹の次代検定林

次代検定林の設定は、精英樹選抜事業に準じ、系統を列状植栽した乱塊法 3 反復設計で、植栽本数はほぼヘクタールあたり 3,000 本である(表 - 2)。検定林間で同じ精英樹家系を複数重複させ、単一検定林のみならず、線形計画上、複数検定林についても解析可能な構成とした。本研究では、一般交配 69 家系を植栽した計 16 検定林(東秋県 10 ~ 23, 25 と 26 号、表 - 2)の 15 年次調査データを解析に用いた。

表 - 2 精英樹 69 家系を植栽した検定林の概況

| 検定林名(号) | 所在地 | 面積 (ha) | 植栽 本数 | 本数/ ha | 設定 年 | 林齢 (2008) | 系統 数 | 標高 (m) | 方位 | 傾斜 | 土壌型 | 北緯 | 東経 | 最深積雪 (cm) |
|---------|-------------|------------|----------|-----------|---------|--------------|---------|-----------|----|-----|-------|-------|--------|--------------|
| 東秋県10 | 秋田市河辺戸島 | 1.5 | 4,736 | 3,157 | S54 | 29 | 16 | 95 | 東南 | 緩 | BD-D | 39,37 | 140,15 | 70~100 |
| 東秋県11 | 山本郡三種町鹿渡 | 1.5 | 4,241 | 2,827 | S54 | 29 | 16 | 95 | 西 | 中 | BD | 40,03 | 140,07 | 50~70 |
| 東秋県12 | 大仙市協和町稲沢 | 1.5 | 4,097 | 2,731 | S55 | 28 | 15 | 160 | 西南 | 緩 | BD-D | 39,37 | 140,24 | 88 |
| 東秋県13 | 南秋田郡五城目町富津内 | 1.5 | 4,366 | 2,911 | S55 | 28 | 20 | 125 | 北西 | 急 | BD-D | 39,55 | 140,13 | 50~70 |
| 東秋県14 | 由利本庄市岩城 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S56 | 27 | 21 | 180 | 南西 | 緩 | BD-D | 39,33 | 140,09 | 120 |
| 東秋県15 | 湯沢市字沼ノ袋 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S56 | 27 | 22 | 160 | 南西 | 緩 | BD-D | 39,09 | 140,32 | 180 |
| 東秋県16 | 大館市葛原字沼田 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S57 | 26 | 24 | 130 | 北西 | 中 | BD-W | 40,14 | 140,43 | 70 |
| 東秋県17 | 由利本庄市大内深沢 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S57 | 26 | 25 | 70 | 東 | 中 | BD | 39,25 | 140,03 | 46 |
| 東秋県18 | 北秋田市鷹巣 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S58 | 25 | 23 | 150 | 東南 | 中 | BD | 40,12 | 140,27 | 120 |
| 東秋県19 | 大仙市南外 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S58 | 25 | 25 | 140 | 南 | 中 | BD | 39,24 | 140,21 | 150 |
| 東秋県20 | 秋田市上新城50丁 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S59 | 24 | 26 | 180 | 北 | 緩・急 | BD-D | 39,47 | 140,09 | 42 |
| 東秋県21 | 湯沢市鳥海小川 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S59 | 24 | 25 | 290 | 北 | 急 | BD-D | 39,09 | 140,15 | 160 |
| 東秋県22 | 鹿角市十和田山根 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S60 | 23 | 26 | 290 | 東南 | 中 | BD-D | 40,18 | 140,49 | 130 |
| 東秋県23 | 湯沢市皆瀬 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S60 | 23 | 27 | 345 | 南 | 中 | BD | 39,01 | 140,34 | 171 |
| 東秋県24 | 秋田市河辺戸島 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S60 | 23 | 26 | 30 | 西 | 中 | B?D-E | 39,39 | 140,12 | 117 |
| 東秋県25 | 雄勝郡羽後町 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | S61 | 22 | 23 | 438 | 北西 | 緩 | BD | 39,06 | 140,19 | 168 |
| 東秋県26 | 湯沢市皆瀬 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | H1 | 19 | 27 | 500 | 北東 | 中 | BD | 39,03 | 140,39 | 120 |
| 東秋県27 | 秋田市雄和相川 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | H1 | 19 | 25 | 100 | 南 | 中 | BD | 39,33 | 140,09 | 87 |
| 東秋県28 | 山本郡八峰町 | 1.5 | 4,500 | 3,000 | H2 | 18 | 25 | 170 | 北西 | 緩 | BD | 40,21 | 140,06 | 55 |

幹材積は樹高と胸高直径から推定する秋田県スギ人工林立木の二変数幹材積表より求めることが可能だが、地力が劣る検定林では個体が小さすぎて幹材積が 0 となる例が多いので割愛した。検定林の精英樹家系の評価は以下の線形式をモデルとし、プログラム Lsab21vb (18) によって分散分析し、分散成分、最小二乗推定値を計算した(14)

$$X_{ijk} = \mu + S_i + R/S_{ij} + F_k + SF_{ik} + e_{ijk}$$

ここで、 X_{ijk} は i 番目の検定林の j 番目のブロックの k 番目の家系のプロット平均値、 μ は全体の平均、 S_i は i 番目の検定林の効果、 R/S_{ij} は i 番目の検定林の j 番目のブロック効果、 F_k は k 番目の家系のプロット平均値の効果、 SF_{ik} は i 番目の検定林と k 番目の家系の交互作用、 e_{ijk} は i 番目の検

定林のj番目のブロックのk番目の家系のプロット平均値の誤差である。また、家系の反復率(Rc)および分散分析によって求められた平均平方の期待値から次式によって推定した。

$$Rc = f^2 / (f^2 + sf^2 + e^2)$$

ここで、 f^2 は家系の分散成分、 sf^2 は家系と検定林の交互作用、 e^2 は誤差成分である。

3) 交雑家系の次代検定林

a) 第一次交配試験

交配家系ごとに1プロットあたり50本のスギ苗を列状植栽し、3反復とした要因交配設計の10年次検定林(東耐雪秋県7号)の調査データを解析に用いた。データ解析は枯損木と折損木を除いた個体の樹高、胸高直径および傾幹幅についてブロック毎に家系のプロット平均値を算出し、3ブロックの単純平均値を用いた。d2Hは3ブロックの単純平均値の胸高直径の二乗に樹高を積算した。なお、樹高階別の平均傾幹幅は、樹高1~1.9mを1m、樹高2~2.9mを2m、樹高3~3.9mを3mとし、以下同様に1m間隔で樹高階別に傾幹幅の平均を求めた。

b) 第二次交配試験

交配家系ごとに1プロットあたり15本のスギ苗を列状植栽し、3反復とした要因交配設計の10年次検定林(秋県単12号の1,2ブロック、13号の1ブロック)の調査データを解析に用いた。以下は第一次交配試験と同様とした。

4) 家系の評価

本県のスギ精英樹系統の樹高、胸高直径、傾幹幅およびd2Hの順位づけはスギ精英樹特性表(24)の評価手法に基づき、15年次成長特性については分散分析で得られた最小二乗推定値、10年次成長特性の場合は傾幹幅/樹高で除した傾幹幅/樹高を用いて以下の5段階評価とした。

$$5; y > m + 0.5, 4; m + 0.5 < y < m + 1.5, 3; m - 0.5 < y < m + 0.5, 2; m - 1.5 < y < m - 0.5, 1; y < m - 1.5$$

ここで、yは任意の系統、mは全系統最小二乗推定値の平均もしくは傾幹幅/樹高の値、 σ は標準偏差である。なお、根元曲がりの評価は傾幹幅が小さいものが優良となるので以下のように行った。

$$5; y < m - 1.5, 4; m - 1.5 < y < m - 0.5, 3; m - 0.5 < y < m + 0.5, 2; m + 0.5 < y < m + 1.5, 1; y > m + 0.5$$

結果と考察

1) 傾幹幅のデータ処理について

最初に傾幹幅のデータ処理について検討した。当センターでは傾幹幅を 10 cm 括約で測定した事例が多いので、1 cm 括約で測定した場合と四捨五入した場合でどの程度の誤差が生じるか、東秋県 25 号検定林データを用いて比較してみた。その結果、家系のプロット平均値では最大 3.4 %、最小で - 1.0 % と 5 % 以内に納まっており、10 cm 括約の傾幹幅測定データによってもデータ処理精度の影響は極めて小さいと考えられた。

2) 雪害抵抗性候補木からの選抜

本県では昭和 45 年から気象害抵抗性育種事業を実施し、民有林の中でも雪害の激害地、成育不良環境地域などから主として 20 年生前後の雪害抵抗性候補木 65 系統を選抜した(2)。この雪害抵抗性候補木 65 系統について行った、県南部の多雪地における次代検定林調査の 10 年次と 15 年次データを解析した。なお、両検定林は雪害抵抗性候補木の番号の小さいものと大きいものを隣接する 2 林分に設定しているため、実質上、一つの検定林である。検定林の概況が表 - 1、樹高、胸高直径と傾幹幅の分散分析結果が表 - 3 である。

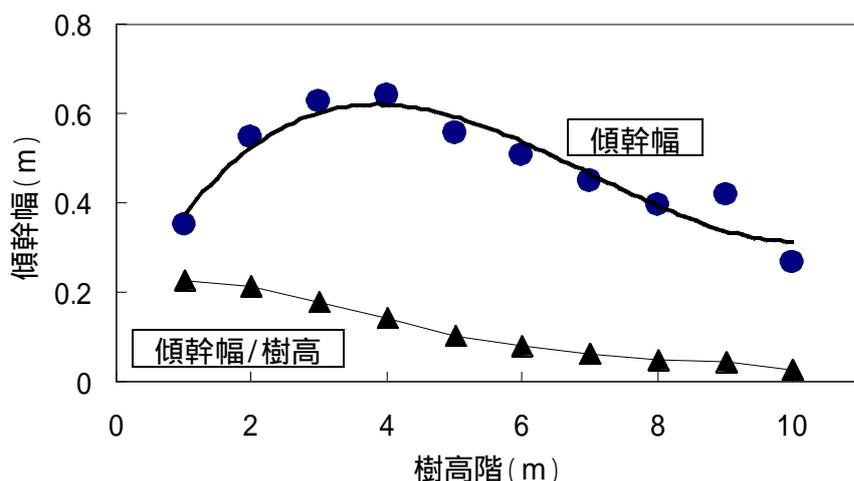


図 - 1 15 年次東耐雪秋 3 号と 4 号の樹高階と傾幹幅、傾幹幅 / 樹高の関係

雪害抵抗性一般交配検定林の 15 年次の樹高階 (横軸) と傾幹幅 (縦軸) の関係を調べてみると、なだらかな凸型を示す。傾幹幅を樹高で除した傾幹幅 / 樹高は、傾幹幅が小さく、樹高が高いほど、小さな値を示すので、たとえ傾幹幅が大きくても樹高が高ければその大きさがマスクされる(図 - 1)。そこで、d2H、傾幹幅と傾幹幅 / 樹高で優良家系を選抜した効果を比較するため、縦軸に d2H で求めた材積および傾幹幅、横軸には 3 種類の選抜手法によって選抜された優良家系数をプロットしてみた。その結果、d2H で優良家系を選抜した場合、選抜は d2H が大きい家系を選抜できるが(図 - 2)、同時に傾幹幅も大きくなり(図 - 3)、傾幹幅で優良家系を選抜した場合、傾幹幅は小さいものの材積が小さくなった。一方、傾幹幅 / 樹高で優良家系を選抜した場合、傾幹幅は傾幹幅で優良家系を選抜

した場合と同様に小さく、d2H は傾幹幅選抜と d2H 選抜の間に位置した。

表 - 3 15 年次東耐雪秋 3 号と 4 号の分散分析

| 要因 | 自由度 | 樹高 平均平方 | F | 胸高直径 平均平方 | F | 傾幹幅 平均平方 | F |
|--------|-----|------------|-----------|--------------|-----------|-------------|-----------|
| 反復 | 2 | 4.9201 | | 8.5198 | | 0.6619 | |
| 家系 | 64 | 0.7406 | 1.8099 ** | 4.1311 | 0.0000 ** | 0.0354 | 1.6988 ** |
| 誤差 | 125 | 0.4092 | | 1.6192 | | 0.0208 | |
| 家系の反復率 | | | 0.2152 | | 0.3444 | | 0.1913 |

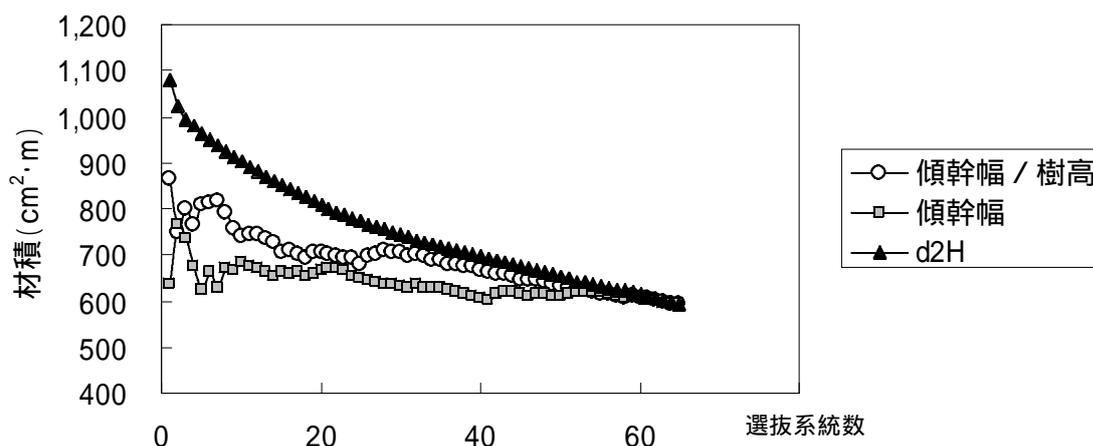


図 - 2 3 種類の選抜手法による選抜系統された雪害抵抗性候補木の d2H

したがって、根元曲がりが少なく、かつ、成長が良いスギの選抜効果が最も高いのはこれら d2H、傾幹幅と傾幹幅 / 樹高の家系選抜法の中では傾幹幅 / 樹高による選抜と考えられた。

雪害抵抗性育種における選抜手法としての最適化については、傾幹幅による選抜圧と成長形質の選抜圧を変化させて調べた事例 (17) や、選抜指数を用いる方法がある (22)。選抜指数を導入するには根元曲がり部分とそれ以外の経済的価値を区別し、根元曲がりの程度によって材価がどのように変動するか、明らかにする必要がある。しかし、現在のところ、本県のみならず全国的にも研究事例がなく、有効な評価手法は開発されていないため、選抜指数による解析は現時点で困難である。なお、傾幹幅による選抜圧と成長形質の選抜圧を変化させる選抜は、学術的知見として極めて重要であるものの、優良系統を選抜する際には、やはり両者の重み付けをどのようにするか、つまり、どちらの形質を優先して改良すればよいのか、今後、検討の余地がある。

表 - 4 県南多雪地域における雪害抵抗性候補木の形質と15年次評価値

| 系統 | 形質 | 傾幹幅/樹高 | | 樹高 | | 胸高直径 | | 傾幹幅 | | d2H | |
|-------|--------|--------|-----|-----|------|------|------|-----|----------------------|-----|--|
| | | 評価値 | (m) | 評価値 | (cm) | 評価値 | (m) | 評価値 | (cm ² ・m) | 評価値 | |
| 耐雪46号 | 0.0637 | 5 | 6.3 | 5 | 11.7 | 4 | 0.39 | 4 | 864 | 5 | |
| 耐雪59号 | 0.0643 | 5 | 5.1 | 2 | 11.1 | 3 | 0.31 | 5 | 636 | 3 | |
| 耐雪44号 | 0.0660 | 5 | 6.2 | 5 | 12.1 | 5 | 0.36 | 5 | 896 | 5 | |
| 耐雪42号 | 0.0670 | 5 | 5.8 | 4 | 10.8 | 3 | 0.37 | 5 | 676 | 3 | |
| 耐雪49号 | 0.0680 | 5 | 6.2 | 5 | 12.5 | 5 | 0.41 | 4 | 970 | 5 | |
| 耐雪34号 | 0.0767 | 4 | 5.8 | 4 | 12.0 | 4 | 0.44 | 4 | 837 | 4 | |
| 耐雪48号 | 0.0793 | 4 | 6.6 | 5 | 11.2 | 4 | 0.50 | 3 | 829 | 4 | |
| 耐雪56号 | 0.0813 | 4 | 5.4 | 3 | 10.7 | 3 | 0.42 | 4 | 618 | 3 | |
| 耐雪58号 | 0.0820 | 4 | 4.8 | 2 | 10.0 | 3 | 0.36 | 5 | 485 | 2 | |
| 耐雪43号 | 0.0847 | 4 | 5.8 | 4 | 10.3 | 3 | 0.43 | 4 | 608 | 3 | |
| 耐雪55号 | 0.0853 | 4 | 5.8 | 4 | 11.3 | 4 | 0.47 | 4 | 747 | 4 | |
| 耐雪65号 | 0.0860 | 4 | 5.6 | 3 | 11.7 | 4 | 0.48 | 4 | 776 | 4 | |
| 耐雪37号 | 0.0860 | 4 | 5.2 | 2 | 10.8 | 3 | 0.40 | 4 | 599 | 3 | |
| 耐雪60号 | 0.0877 | 4 | 5.6 | 3 | 10.6 | 3 | 0.47 | 4 | 630 | 3 | |
| 耐雪53号 | 0.0883 | 4 | 4.8 | 2 | 9.3 | 2 | 0.38 | 4 | 421 | 2 | |
| 耐雪5号 | 0.0883 | 4 | 6.3 | 5 | 11.0 | 3 | 0.49 | 4 | 759 | 4 | |
| 耐雪39号 | 0.0883 | 4 | 5.1 | 2 | 10.8 | 3 | 0.44 | 4 | 592 | 3 | |
| 耐雪64号 | 0.0900 | 4 | 5.4 | 3 | 10.1 | 3 | 0.51 | 3 | 548 | 3 | |
| 耐雪36号 | 0.0927 | 4 | 6.1 | 5 | 12.3 | 5 | 0.54 | 3 | 932 | 5 | |
| 耐雪62号 | 0.0930 | 4 | 5.3 | 3 | 11.5 | 4 | 0.46 | 4 | 707 | 4 | |
| 耐雪22号 | 0.0933 | 4 | 5.5 | 3 | 10.0 | 3 | 0.45 | 4 | 552 | 3 | |
| 耐雪61号 | 0.0940 | 4 | 5.5 | 3 | 10.5 | 3 | 0.48 | 4 | 600 | 3 | |
| 耐雪25号 | 0.0947 | 4 | 5.4 | 3 | 10.6 | 3 | 0.50 | 3 | 606 | 3 | |
| 耐雪50号 | 0.1007 | 3 | 5.6 | 3 | 11.0 | 3 | 0.51 | 3 | 684 | 4 | |
| 耐雪33号 | 0.1025 | 3 | 4.9 | 2 | 9.3 | 2 | 0.39 | 4 | 424 | 2 | |
| 耐雪47号 | 0.1043 | 3 | 6.0 | 4 | 13.5 | 5 | 0.58 | 3 | 1081 | 5 | |
| 耐雪54号 | 0.1050 | 3 | 5.9 | 4 | 12.2 | 5 | 0.58 | 3 | 880 | 5 | |
| 耐雪51号 | 0.1063 | 3 | 6.0 | 4 | 12.5 | 5 | 0.58 | 3 | 931 | 5 | |
| 耐雪24号 | 0.1073 | 3 | 6.0 | 4 | 9.7 | 3 | 0.51 | 3 | 559 | 3 | |
| 耐雪35号 | 0.1073 | 3 | 5.4 | 3 | 11.5 | 4 | 0.54 | 3 | 717 | 4 | |
| 耐雪28号 | 0.1090 | 3 | 5.5 | 3 | 9.5 | 2 | 0.51 | 3 | 494 | 2 | |
| 耐雪41号 | 0.1093 | 3 | 6.0 | 4 | 11.5 | 4 | 0.63 | 2 | 802 | 4 | |
| 耐雪32号 | 0.1100 | 3 | 5.1 | 2 | 9.8 | 3 | 0.52 | 3 | 496 | 2 | |
| 耐雪18号 | 0.1110 | 3 | 5.2 | 3 | 9.9 | 3 | 0.52 | 3 | 513 | 3 | |
| 耐雪19号 | 0.1130 | 3 | 5.9 | 4 | 10.6 | 3 | 0.61 | 2 | 660 | 3 | |
| 耐雪23号 | 0.1130 | 3 | 5.4 | 3 | 10.1 | 3 | 0.53 | 3 | 558 | 3 | |
| 耐雪4号 | 0.1130 | 3 | 5.6 | 3 | 8.8 | 2 | 0.58 | 3 | 430 | 2 | |
| 耐雪63号 | 0.1137 | 3 | 4.8 | 2 | 10.5 | 3 | 0.51 | 3 | 527 | 3 | |
| 耐雪57号 | 0.1187 | 3 | 5.5 | 3 | 11.2 | 4 | 0.62 | 2 | 688 | 4 | |
| 耐雪15号 | 0.1193 | 3 | 5.0 | 2 | 9.0 | 2 | 0.55 | 3 | 408 | 2 | |
| 耐雪7号 | 0.1197 | 3 | 5.4 | 3 | 9.1 | 2 | 0.58 | 3 | 443 | 2 | |
| 耐雪8号 | 0.1213 | 3 | 5.3 | 3 | 9.4 | 2 | 0.59 | 3 | 465 | 2 | |
| 耐雪3号 | 0.1217 | 3 | 5.6 | 3 | 10.1 | 3 | 0.62 | 2 | 566 | 3 | |
| 耐雪52号 | 0.1227 | 3 | 5.3 | 3 | 10.2 | 3 | 0.62 | 2 | 557 | 3 | |
| 耐雪38号 | 0.1230 | 3 | 4.3 | 1 | 8.5 | 1 | 0.49 | 4 | 313 | 1 | |
| 耐雪40号 | 0.1230 | 3 | 5.5 | 3 | 10.7 | 3 | 0.65 | 2 | 624 | 3 | |
| 耐雪20号 | 0.1233 | 3 | 5.6 | 3 | 9.9 | 3 | 0.65 | 2 | 557 | 3 | |
| 耐雪9号 | 0.1250 | 2 | 5.5 | 3 | 9.2 | 2 | 0.59 | 3 | 468 | 2 | |
| 耐雪10号 | 0.1257 | 2 | 4.8 | 2 | 10.2 | 3 | 0.57 | 3 | 495 | 2 | |
| 耐雪26号 | 0.1283 | 2 | 5.2 | 3 | 9.6 | 2 | 0.62 | 2 | 482 | 2 | |
| 耐雪6号 | 0.1324 | 2 | 5.3 | 3 | 8.7 | 1 | 0.62 | 2 | 401 | 2 | |
| 耐雪14号 | 0.1350 | 2 | 5.2 | 3 | 9.7 | 3 | 0.67 | 2 | 486 | 2 | |
| 耐雪29号 | 0.1353 | 2 | 4.7 | 2 | 9.0 | 2 | 0.61 | 2 | 385 | 2 | |
| 耐雪1号 | 0.1357 | 2 | 4.8 | 2 | 9.0 | 2 | 0.58 | 3 | 387 | 2 | |
| 耐雪31号 | 0.1373 | 2 | 5.2 | 3 | 9.9 | 3 | 0.64 | 2 | 508 | 3 | |
| 耐雪2号 | 0.1383 | 2 | 5.6 | 3 | 10.0 | 3 | 0.65 | 2 | 557 | 3 | |
| 耐雪16号 | 0.1400 | 2 | 4.6 | 1 | 9.6 | 3 | 0.59 | 3 | 429 | 2 | |
| 耐雪17号 | 0.1400 | 2 | 5.0 | 2 | 9.2 | 2 | 0.66 | 2 | 423 | 2 | |
| 耐雪45号 | 0.1460 | 2 | 5.6 | 3 | 11.6 | 4 | 0.72 | 1 | 752 | 4 | |
| 耐雪13号 | 0.1487 | 2 | 5.0 | 2 | 9.6 | 2 | 0.72 | 1 | 459 | 2 | |
| 耐雪27号 | 0.1597 | 1 | 5.2 | 3 | 9.0 | 2 | 0.74 | 1 | 419 | 2 | |
| 耐雪30号 | 0.1597 | 1 | 4.8 | 2 | 9.3 | 2 | 0.69 | 2 | 413 | 2 | |
| 耐雪11号 | 0.1683 | 1 | 4.7 | 1 | 8.5 | 1 | 0.73 | 1 | 340 | 2 | |
| 耐雪12号 | 0.1723 | 1 | 4.6 | 1 | 7.7 | 1 | 0.74 | 1 | 271 | 1 | |
| 耐雪21号 | 0.1827 | 1 | 5.4 | 3 | 10.8 | 3 | 0.87 | 1 | 632 | 3 | |

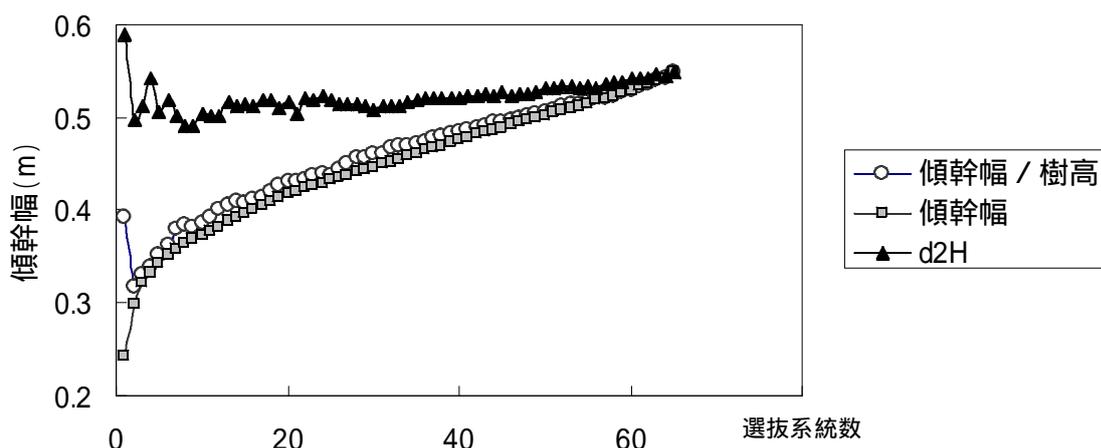


図 - 3 3種類の選抜手法による選抜系統された雪害抵抗性候補木の傾幹幅

雪害抵抗性候補木は雪害地から選抜し、根元曲がりが少ないだけでなく、成長が優れる優良木である。一般論として、優良な家系間の交雑では優良な実生が期待できるが、その比較に関しては検定林調査によって実証する必要がある。雪害抵抗性 65 系統の最小二乗推定値に基づく d2H、傾幹幅および傾幹幅 / 樹高の評価値が表 - 4 である。つぎに、傾幹幅 / 樹高の評価値が 4 以上の優良 23 家系について、選抜育種効果を調べた結果、優良 17 家系までの選抜では、65 系統平均全体と比較した場合、選抜系統群は樹高、胸高直径と材積はほぼ変わらず、傾幹幅のみ 10 % 減の改良効果が期待できることがわかった (図 - 2)。したがって、本来、複数検定林調査による解析がより望ましいものの一検定林の調査・解析より、雪害抵抗性候補木の成長量を確保しながら根元曲がりの少ない優良家系を選抜することができたと考えられる。

最近、一検定林の結果ではあるものの、東北地方のスギの遺伝解析結果では、樹高や胸高直径における年次間の表現型相関は比較的高いものの、傾幹幅における年次間の表現型相関は特に 10 年次調査データが 15 年次、20 年次のいずれも低い結果が示されている (15)。そこで、当該検定林について、横軸に 10 年次における選抜優良家系数、縦軸に 10 年次に選抜した家系が 15 年次に優良家系として選抜される割合によって、早期選抜の精度について調べた (図 - 4)。その結果、10 年次に早期選抜を行った場合、概ね 25 系統前後の選抜では 6 割 5 分程度が 15 年次でも優良家系だった。

東北地方では 10 ~ 12 年生までがスギ根元曲がりの形成期、その後、固定期に入るとされていたが (25)、本研究では 10 年生では根元曲がりの固定期といえない結果が得られた (図 - 4)。むしろ、本研究は 10 年次根元曲がりは 15 年次、20 年次の根元曲がりとの年次相関は低いこと (15)、塚原ら (34) の林分調査から、林齢 15 年生に傾幹幅がピークになるという報告を支持する結果となった。また、優良家系の選抜は 10 年次での系統選抜よりも 15 年次のほうが望ましいものの、下位 20 % の不良家系を足きりした場合の選抜精度 (65 系統から 13 系統を差し引いた 52 系統) は 90 % 程度である (図 - 4 の点線) ことから、10 年次調査を踏まえた足きり選抜は以降の調査効率化に有効な手法と考えられた。

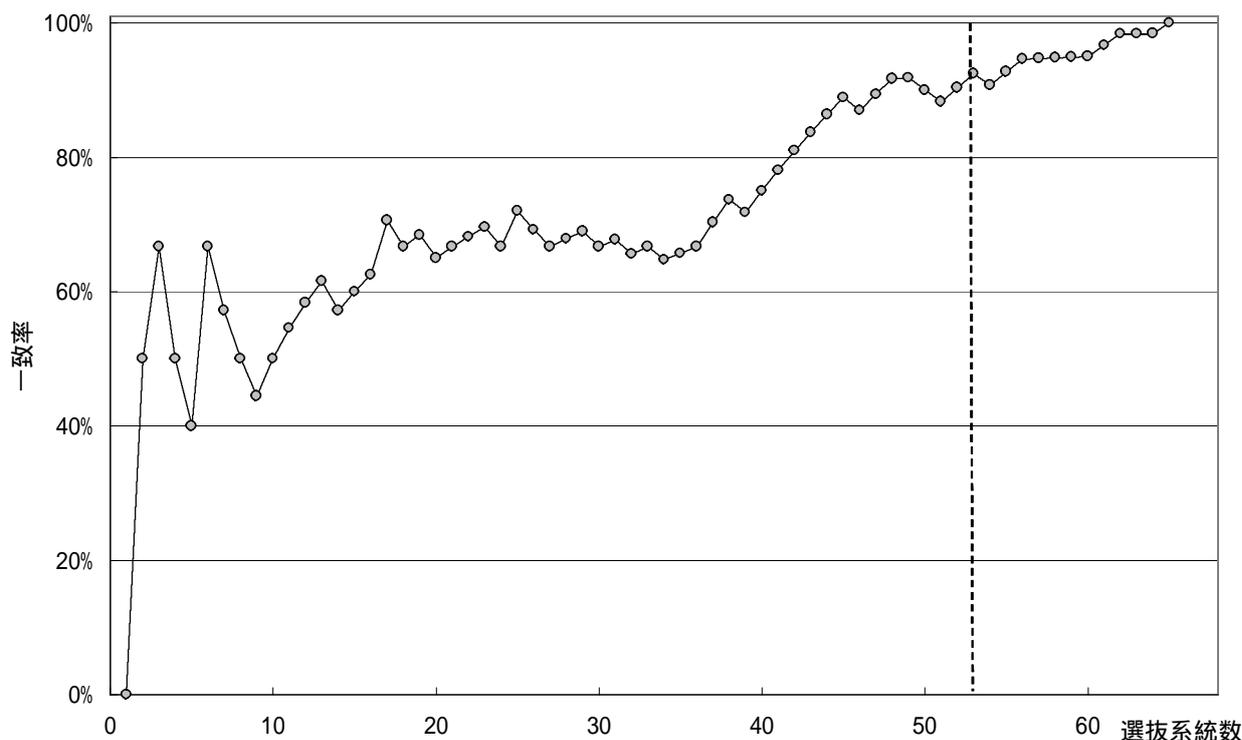


図 - 4 10年次調査で選抜した系統が15年次に優良家系として選抜される割合

3) 精英樹からの系統選抜

現在の当センター採種園の構成クローンはすべて精英樹であり、全県に供給している育種種子はこれら精英樹の実生である。秋田県では民有林を対象に昭和31～38年に木材生産の増大を主目的に県内各地より成長の優れる精英樹70系統を選抜した(秋田県林業技術センター, 1991)。なお、選抜基準として、その地方の実状に併せた各種抵抗性・適応性を考慮するとあるので、本県では成長特性以外にも病虫害被害がなく、雪害に強い個体を候補として選抜した。

これらの精英樹の検定林概況は表-2のとおりである。そして、秋田県の地域区分を県全体と4つに分類した場合、各形質の有意差および分散分析によって求められる形質と検定林の交互作用の分散成分についてまとめたのが表-5である。一般的に交互作用の分散成分(sf^2)は家系の分散成分(f^2)の50%以上を占める場合、地域区分を行なうと選抜効果が高まると言われている(30)。県全体を多雪地域と少雪地域、さらに県北多雪地域、県南多雪地域に分割して調べた結果、3形質に統計上、有意差が認められた多雪地域のグループ分けが優良家系の選抜に最も良いと判断した(表-5)。この多雪地帯の区分における秋田県精英樹の分散分析は表-6のとおりである。なお、県北多雪地域において、樹高が交互作用の分散成分(sf^2)は家系の分散成分(f^2)の2倍になったり、傾幹幅では負になった理由としては検定林のデータ数が少なすぎたためと考えられる。

さらに選抜手法として、胸高直径、 $d2H$ 、傾幹幅と傾幹幅/樹高による選抜を比較したところ、傾幹幅による選抜が4種類の中で、 $d2H$ で求めた材積の大きさと傾幹幅の小ささから、最も有効と考えた。この傾幹幅による選抜の結果、23系統の精英樹を優良系統としたところ、全精英樹平均と比較

して樹高，胸高直径，d2H などの成長量は同等であるのに対して，根元曲がりはおよそ 15 %減少する改良効果があった（図 - 5、6）。このことは優良系統の選抜育種によって，全県レベルでみた場合，一般交配型の採種園産種子を用いても成長が優れ，かつ根元曲がりが少ないスギを育成可能であることを示している。

表 - 5 秋田県の地域区分と各形質の有意差および形質と検定林の交互作用

| 区分 | 対象検定林 | 樹高 | 胸高直径 | 傾幹幅 |
|--------|-------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| 県全体 | 10~26(24を除く) | 0.583 | 0.732 | <u>0.430</u> ** |
| 少雪地域全体 | 10,11,13,14,17,20 | 1.814 | 1.023 | <u>0.135</u> |
| 多雪地域全体 | 12,15,16,18,19,21,22,23,25,26 | <u>0.348</u> * | 0.728 * | <u>0.347</u> * |
| 県北多雪地域 | 16,18,22 | 2.054 | <u>0.498</u> | -0.217 ** |
| 県南多雪地域 | 15,21,23,25,26 | <u>0.038</u> | <u>0.493</u> | <u>0.185</u> |

表 - 6 多雪地域区分における秋田県精英樹の分散分析

| 要因 | 自由度 | 樹高 | | 胸高直径 | | 傾幹幅 | |
|----------|-----|---------|------------|----------|------------|--------|------------|
| | | 平均平方 | F | 平均平方 | F | 平均平方 | F |
| 検定林 | 9 | 82.3122 | 2.2032 | 278.4158 | 5.1435 ** | 3.0639 | 16.7206 ** |
| 検定林内反復 | 20 | 36.7483 | 52.4261 ** | 52.6651 | 32.0761 ** | 0.1709 | 11.7034 ** |
| 家系 | 68 | 1.3136 | 1.5851 * | 3.1067 | 1.4042 * | 0.0269 | 1.5648 * |
| 検定林 × 家系 | 151 | 0.8287 | 1.1823 | 2.2124 | 1.3475 * | 0.0172 | 1.1788 |
| 誤差 | 432 | 0.7010 | | 1.6419 | | 0.0146 | |
| 家系の反復率 | | | 0.142623 | | 0.126007 | | 0.140881 |

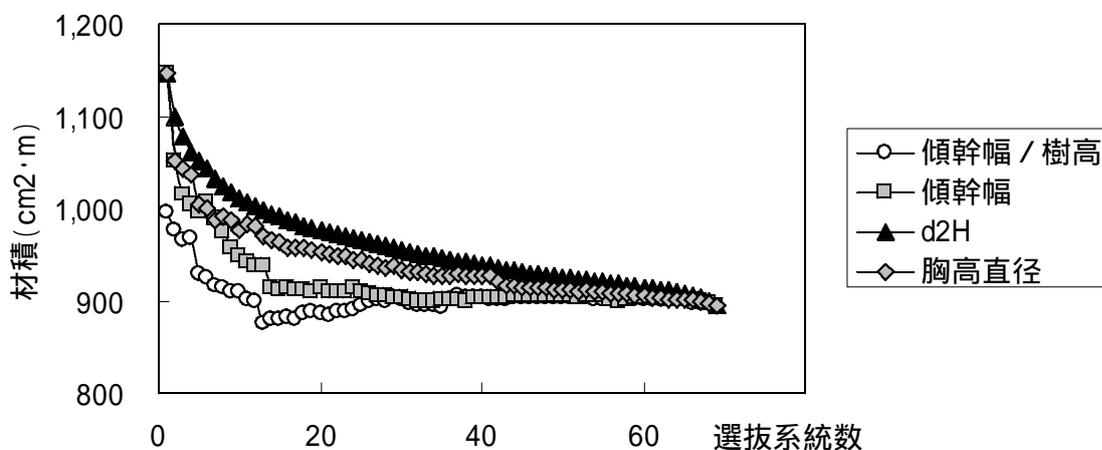


図 - 5 4種類の選抜手法による選抜系統された精英樹の d2H

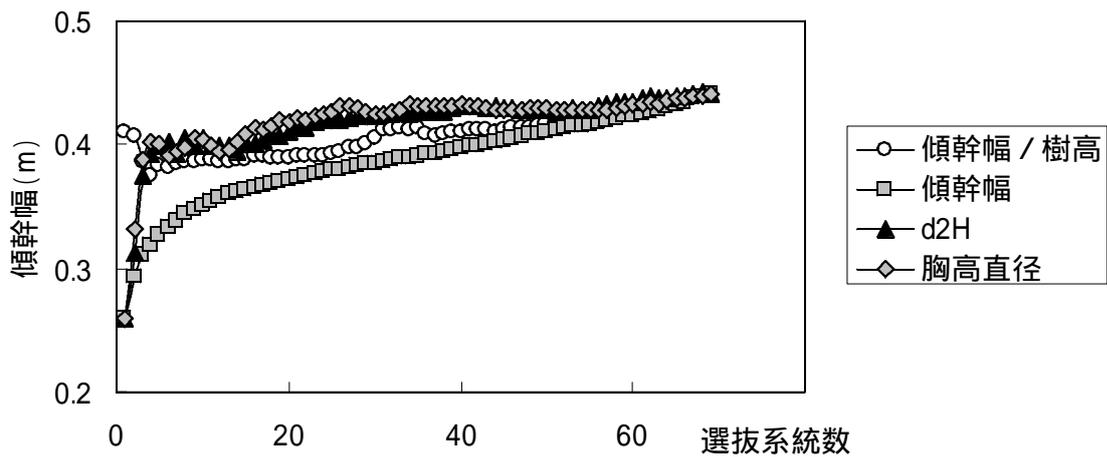


図 - 6 4種類の選抜手法による選抜系統された精英樹の傾幹幅

なお、雪害抵抗性候補木では傾幹幅 / 樹高による選抜が傾幹幅による選抜よりも効果的だったのに対し、精英樹の場合には逆の結果が得られた。この理由としては、雪害抵抗性候補木は主として傾幹幅で選抜しているのに、精英樹は成長と傾幹幅で選抜を行ったためと考えられた。

表 - 7 県内多雪地域における精英樹の形質と15年次評価値

| 系統 | 形質 | 樹高 | | 胸高直径 | | 傾幹幅 | | d2H | |
|------|----|-----|-----|------|-----|------|-----|----------------------|-----|
| | | (m) | 評価値 | (cm) | 評価値 | (m) | 評価値 | (cm ² ·m) | 評価値 |
| 仙北8 | | 7.0 | 5 | 12.1 | 5 | 0.26 | 5 | 1145 | 5 |
| 由利12 | ✓ | 6.7 | 3 | 11.0 | 3 | 0.29 | 5 | 1051 | 4 |
| 仙北2 | ✓ | 6.6 | 3 | 10.8 | 4 | 0.31 | 4 | 1016 | 4 |
| 山本4 | ✓ | 6.7 | 5 | 10.8 | 4 | 0.32 | 4 | 1004 | 4 |
| 仙北3 | ✓ | 6.7 | 3 | 10.6 | 3 | 0.33 | 4 | 997 | 4 |
| 仙北10 | ✓ | 6.6 | 4 | 10.6 | 4 | 0.33 | 4 | 1006 | 5 |
| 北秋8 | ✓ | 6.6 | 3 | 10.5 | 3 | 0.34 | 4 | 990 | 3 |
| 北秋2 | ✓ | 6.6 | 4 | 10.4 | 3 | 0.34 | 4 | 975 | 3 |
| 雄勝18 | ✓ | 6.5 | 2 | 10.3 | 2 | 0.35 | 4 | 957 | 2 |
| 鹿角2 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 3 | 0.35 | 4 | 949 | 3 |
| 鹿角5 | ✓ | 6.5 | 4 | 10.3 | 4 | 0.35 | 4 | 942 | 3 |
| 鹿角4 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 3 | 0.36 | 4 | 938 | 3 |
| 由利10 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 4 | 0.36 | 4 | 938 | 4 |
| 北秋7 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 3 | 0.36 | 4 | 915 | 1 |
| 鹿角3 | ✓ | 6.5 | 5 | 10.2 | 4 | 0.36 | 4 | 913 | 3 |
| 雄勝10 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 3 | 0.37 | 4 | 914 | 4 |
| 由利5 | ✓ | 6.5 | 2 | 10.1 | 2 | 0.37 | 4 | 911 | 3 |
| 北秋9 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.1 | 3 | 0.37 | 4 | 913 | 4 |
| 平鹿1 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.1 | 3 | 0.37 | 4 | 911 | 3 |
| 雄勝2 | ✓ | 6.5 | 5 | 10.2 | 5 | 0.37 | 4 | 913 | 4 |
| 北秋5 | ✓ | 6.5 | 4 | 10.2 | 4 | 0.37 | 4 | 910 | 2 |
| 北秋13 | ✓ | 6.5 | 4 | 10.2 | 3 | 0.38 | 4 | 910 | 3 |
| 由利4 | ✓ | 6.5 | 4 | 10.2 | 4 | 0.38 | 4 | 911 | 3 |
| 由利11 | ✓ | 6.5 | 4 | 10.2 | 3 | 0.38 | 3 | 914 | 4 |
| 北秋6 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.2 | 3 | 0.38 | 3 | 909 | 2 |
| 北秋12 | ✓ | 6.5 | 2 | 10.1 | 3 | 0.38 | 3 | 908 | 3 |
| 北秋1 | ✓ | 6.5 | 3 | 10.1 | 3 | 0.38 | 3 | 906 | 3 |
| 山本2 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.1 | 2 | 0.38 | 3 | 905 | 3 |
| 南秋2 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.1 | 3 | 0.38 | 3 | 904 | 3 |
| 雄勝5 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.1 | 3 | 0.39 | 3 | 904 | 3 |
| 雄勝3 | ✓ | 6.4 | 2 | 10.0 | 1 | 0.39 | 3 | 901 | 2 |
| 雄勝16 | ✓ | 6.4 | 2 | 10.0 | 2 | 0.39 | 3 | 900 | 3 |
| 由利8 | ✓ | 6.4 | 1 | 10.0 | 1 | 0.39 | 3 | 900 | 3 |
| 北秋4 | ✓ | 6.4 | 4 | 10.0 | 3 | 0.39 | 3 | 898 | 3 |
| 仙北1 | ✓ | 6.4 | 4 | 10.0 | 4 | 0.39 | 3 | 902 | 5 |
| 由利6 | ✓ | 6.4 | 2 | 10.0 | 3 | 0.39 | 3 | 901 | 3 |
| 鹿角1 | ✓ | 6.4 | 2 | 10.0 | 3 | 0.39 | 3 | 900 | 3 |
| 仙北4 | ✓ | 6.4 | 4 | 10.0 | 3 | 0.39 | 3 | 900 | 3 |
| 北秋11 | ✓ | 6.4 | 5 | 10.0 | 5 | 0.40 | 3 | 903 | 5 |
| 雄勝4 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.40 | 3 | 903 | 3 |
| 雄勝9 | ✓ | 6.4 | 4 | 10.0 | 4 | 0.40 | 3 | 904 | 4 |
| 南秋3 | ✓ | 6.4 | 1 | 10.0 | 2 | 0.40 | 3 | 904 | 3 |
| 鹿角6 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.40 | 3 | 904 | 3 |
| 雄勝1 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 4 | 0.40 | 3 | 905 | 4 |
| 平鹿2 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.40 | 3 | 905 | 3 |
| 山本3 | ✓ | 6.4 | 4 | 10.0 | 3 | 0.41 | 3 | 906 | 4 |
| 平鹿3 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.41 | 3 | 905 | 3 |
| 雄勝13 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.41 | 3 | 905 | 3 |
| 由利7 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 3 | 0.41 | 3 | 905 | 3 |
| 由利9 | ✓ | 6.4 | 3 | 10.0 | 2 | 0.41 | 3 | 905 | 3 |
| 雄勝7 | ✓ | 6.4 | 2 | 10.0 | 2 | 0.41 | 2 | 904 | 3 |
| 雄勝12 | ✓ | 6.3 | 3 | 9.9 | 3 | 0.41 | 2 | 904 | 3 |
| 雄勝11 | ✓ | 6.3 | 3 | 9.9 | 3 | 0.41 | 2 | 905 | 4 |
| 雄勝17 | ✓ | 6.3 | 2 | 9.9 | 4 | 0.42 | 2 | 905 | 3 |
| 山本1 | ✓ | 6.3 | 4 | 10.0 | 4 | 0.42 | 2 | 905 | 3 |
| 北秋10 | ✓ | 6.3 | 2 | 9.9 | 2 | 0.42 | 2 | 901 | 1 |
| 雄勝19 | ✓ | 6.3 | 3 | 9.9 | 2 | 0.42 | 2 | 900 | 3 |
| 雄勝6 | ✓ | 6.3 | 2 | 9.9 | 4 | 0.42 | 2 | 900 | 3 |
| 仙北9 | ✓ | 6.3 | 5 | 10.0 | 5 | 0.42 | 2 | 903 | 5 |
| 雄勝8 | ✓ | 6.3 | 3 | 10.0 | 4 | 0.42 | 2 | 903 | 4 |
| 雄勝14 | ✓ | 6.3 | 3 | 10.0 | 3 | 0.43 | 2 | 903 | 3 |
| 由利3 | ✓ | 6.3 | 3 | 10.0 | 3 | 0.43 | 2 | 903 | 3 |
| 南秋4 | ✓ | 6.3 | 4 | 10.0 | 3 | 0.43 | 1 | 902 | 2 |
| 仙北7 | ✓ | 6.3 | 1 | 9.9 | 1 | 0.43 | 1 | 901 | 3 |
| 仙北6 | ✓ | 6.3 | 1 | 9.9 | 2 | 0.43 | 1 | 901 | 3 |
| 仙北5 | ✓ | 6.3 | 2 | 9.9 | 2 | 0.43 | 1 | 900 | 3 |

4) 雪害抵抗性候補木と精英樹の交雑家系からの選抜

雪害抵抗性候補木と精英樹の交雑家系の10年次検定林調査結果に基づき，東耐雪7号から24交配家系中，傾幹幅/樹高による評価値が4である耐雪50×鹿角6，耐雪26×山本3，由利10×耐雪50，耐雪50×山本3，耐雪26×由利10，耐雪26×北秋田10，北秋田10×耐雪48，由利10×耐雪26の8家系を第一次交配試験の優良系統として選抜した(表-8)。なお，対照区の実生を含んだ場合は，さらに耐雪48×鹿角4を含む9家系が優良系統として選抜される(26)。選抜手法として，傾幹幅と傾幹幅/樹高による選抜を比較したところ， $d2H$ で求めた材積の大きさと傾幹幅の小ささから，傾幹幅/樹高による選抜が最も有効と考えられた(図-7, 8)。

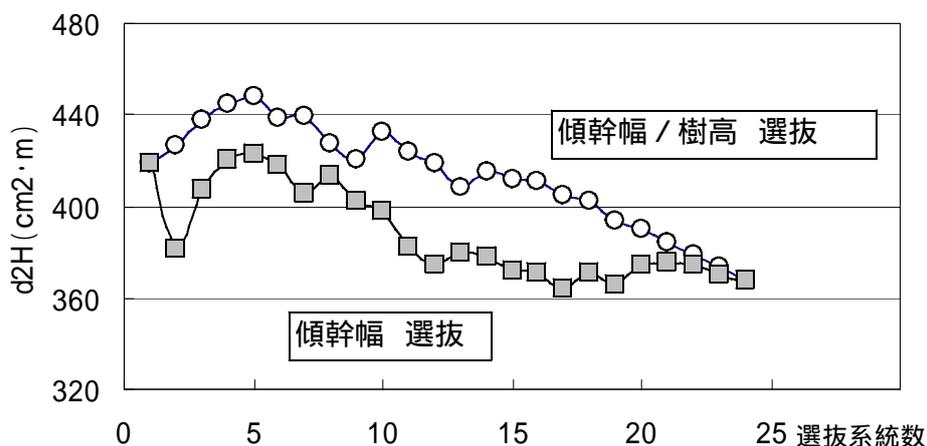


図-7 2種類の選抜手法による選抜系統された第一次交配試験における $d2H$

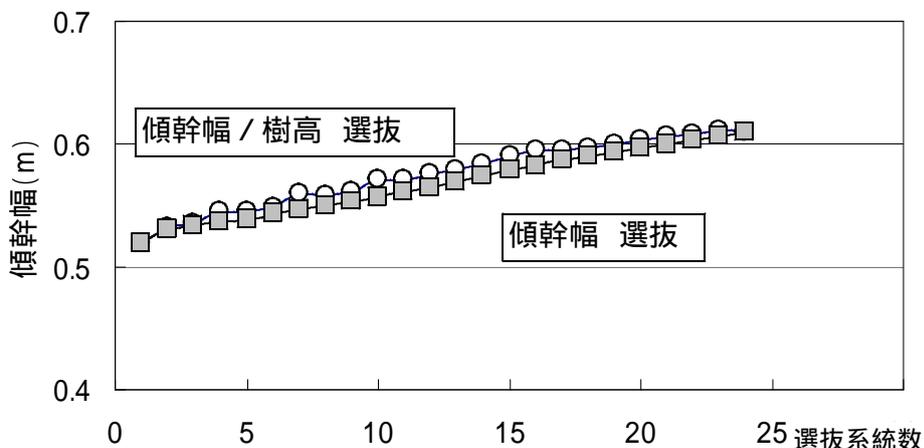


図-8 2種類の選抜手法による選抜系統された第一次交配試験における 傾幹幅

また、第二次交配試験では表 - 9 に示すように傾幹幅 / 樹高による評価値が4以上の雄勝 18 × 出羽の雪 1, 雄勝 18 × R50, R20 × 雄勝 18, 出羽の雪 1 × 仙北 9, 出羽の雪 2 × 雄勝 18, 仙北 9 × 出羽の雪 1, 仙北 6 × 出羽の雪 1 の7家系を優良系統として選抜した(27)。選抜手法として、傾幹幅と傾幹幅 / 樹高による選抜を比較したところ、d2H で求めた材積の大きさと傾幹幅の小ささから、やはり傾幹幅 / 樹高による選抜が有効と考えられた(図 - 9, 10)。

表 - 8 第一次交配試験における交配家系のランキング

| 交配系統(×) | 傾幹幅 / 樹高 | ランキング |
|--------------|----------|-------|
| 耐雪50 × 鹿角6 | 0.1193 | 4 |
| 耐雪26 × 山本3 | 0.1195 | 4 |
| 由利10 × 耐雪50 | 0.1197 | 4 |
| 耐雪50 × 山本3 | 0.1200 | 4 |
| 耐雪26 × 由利10 | 0.1278 | 4 |
| 耐雪26 × 北秋田10 | 0.1278 | 4 |
| 北秋田10 × 耐雪48 | 0.1298 | 4 |
| 由利10 × 耐雪26 | 0.1364 | 4 |
| 耐雪48 × 鹿角4 | 0.1377 | 3 |
| 耐雪45 × 北秋田10 | 0.1389 | 3 |
| 耐雪50 × 鹿角4 | 0.1442 | 3 |
| 鹿角4 × 耐雪48 | 0.1461 | 3 |
| 由利10 × 耐雪48 | 0.1470 | 3 |
| 耐雪45 × 鹿角4 | 0.1474 | 3 |
| 耐雪48 × 鹿角6 | 0.1489 | 3 |
| 耐雪48 × 北秋田10 | 0.1508 | 3 |
| 由利10 × 耐雪45 | 0.1510 | 3 |
| 山本3 × 耐雪48 | 0.1571 | 3 |
| 鹿角6 × 耐雪48 | 0.1683 | 2 |
| 耐雪48 × 由利10 | 0.1772 | 2 |
| 山本3 × 耐雪5 | 0.1813 | 1 |
| 耐雪45 × 山本3 | 0.1814 | 1 |
| 鹿角4 × 耐雪45 | 0.1845 | 1 |
| 耐雪45 × 由利10 | 0.1864 | 1 |

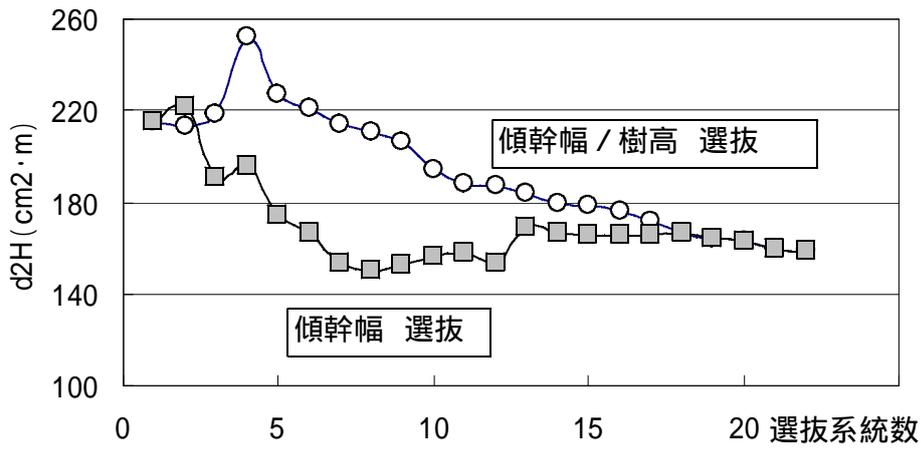


図 - 9 2種類の選抜手法による選抜系統された第二次交配試験における d2H

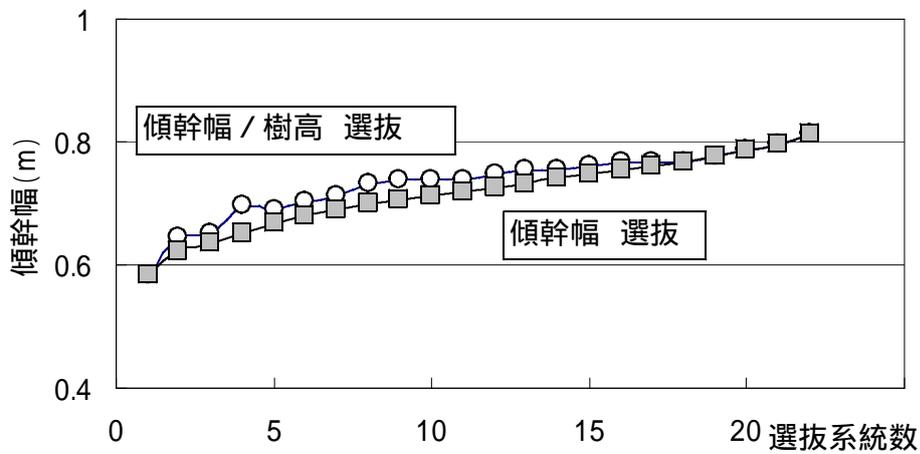


図 - 10 2種類の選抜手法による選抜系統された第二次交配試験における傾幹幅

表 - 9 第二次交配試験における交配家系のランキング

| 交配系統(×) | 傾幹幅 / 樹高 | ランキング |
|--------------|----------|-------|
| 雄勝18 × 出羽の雪1 | 0.1546 | 5 |
| 雄勝18 × R50 | 0.1799 | 4 |
| R20 × 雄勝18 | 0.1863 | 4 |
| 出羽の雪1 × 仙北9 | 0.1905 | 4 |
| 出羽の雪2 × 雄勝18 | 0.2081 | 4 |
| 仙北9 × 出羽の雪1 | 0.2095 | 4 |
| 仙北6 × 出羽の雪1 | 0.2237 | 4 |
| R20 × 仙北5 | 0.2297 | 3 |
| 出羽の雪2 × 仙北5 | 0.2397 | 3 |
| R20 × 仙北6 | 0.2502 | 3 |
| 仙北9 × R37 | 0.2585 | 3 |
| R20 × 由利5 | 0.2609 | 3 |
| 出羽の雪1 × 仙北5 | 0.2611 | 3 |
| 出羽の雪1 × 由利5 | 0.2615 | 3 |
| 出羽の雪2 × 由利5 | 0.2620 | 3 |
| 仙北6 × R50 | 0.2731 | 3 |
| 仙北6 × R37 | 0.2785 | 3 |
| 出羽の雪2 × 仙北6 | 0.2967 | 2 |
| 仙北9 × R20 | 0.3241 | 2 |
| 出羽の雪2 × 仙北9 | 0.3401 | 2 |
| 仙北9 × R50 | 0.3409 | 1 |
| 仙北6 × R20 | 0.3807 | 1 |

第一次交配試験，第二次交配試験の交配親は秋田県内の5年次実生検定林調査を踏まえて樹高成長が優れる精英樹を，雪害抵抗性候補木については挿し木試験林での初期成長の観察結果に基づいて選定したものである(2)。調査データは解析時点で10年次なので，2)雪害抵抗性候補木からの選抜で述べたように，15年次ではおよそ6～7割の精度で選抜されていると考えられる。東北育種基本区でとりまとめた10年次調査結果に基づく「スギ雪害抵抗性系統特性表」(23)において，秋田県選抜の雪害抵抗性候補木5系統が挿し木の上位系統として位置づけられているが，実生系統は該当しなかった。雪害地の初期成長を考慮すると，優良実生を生産する系統選抜は本県のスギ育種事業で重要な課題の一つである。今回の調査では，出羽の雪1号と秋田県の精英樹と雪害抵抗性候補木を人工交配した要因交配によって，本県の雪害抵抗性候補木の耐雪20号は雌親として出羽の雪1号と同等であった(26)。また，宮下ら(16)は秋田県の雪害抵抗性候補木耐雪20号は秋田営17号や10年次雪害抵抗性実生品種である前橋営3号とも差は認められなかったとしている。以上から，秋田県の雪害抵抗性系統は10年次雪害抵抗性実生品種として該当しないものの，母樹系統としては雪害抵抗性の優良系統の存在が示唆された。

外山(33)はスギの優良家系や精英樹の選抜には23年生時にも若干のリスクが残されているものの，不良家系除去は15年生時でも問題ないとしている。ちなみに九州のスギ挿し木検定においては，20年次と30年次で気象災害によって成長阻害が認められるような特殊な地域・検定林を除いた場合，複数検定林から組み合わせた2検定林の成長形質に関する相関が高いことが報告されている(11)。スギについて時系列で詳細に遺伝解析した事例はないものの，これまでの研究報告を整理する

と幼齢期には非相加的遺伝分散の割合が高く、10年次に相対的に相加的遺伝分散が高くなり、その後、加齢とともに相加的遺伝分散が卓越すると考えられている(12)。精英樹や大部分の雪害抵抗性候補木は、壮齢時の表現形に基づいて選抜しているので、今後、本県のスギ優良個体の選抜に関して、周辺領域の研究動向を見極めていくことが重要である。

5) 優良種子生産に向けて

平成19年度の東北ブロックの育種協議会において、雪害抵抗性の高い種子の供給が要望されており、現段階で実施可能なことは選択的採種である。当センターの採種園には種子採種事業で生産に寄与する精英樹の中に、今回選抜した11系統が植栽されている。なお、雪害抵抗性木に関しては採種園が造成されているが、今回、選定した優良系統は耐雪34号のみが植栽されている。精英樹から選抜の11系統から採種することにより、種子の暫定供給は可能になるものの、遺伝的多様性の観点からみると11系統では幾分、少ないと考えられる。

また、既存採種園の雪害抵抗能向上を目的とし、精英樹の15年次成長結果から成長不良で根元曲がりが生じやすい4系統(いずれかの評価値が1である北秋6、北秋7、鹿角2と雄勝14号)を採種園から除去し、新たな優良系統を導入する採種園構成クローンの改良が考えられる。根元曲がりの感受性系統同士の交配は特に根元曲がりを増大する(16)ことから、不良系統の除去による育種改良の効果が期待できる。この改良候補として、傾幹幅/樹高で選抜した雪害抵抗性優良系統の中からさらに材積成長に優れる4系統(R34, 44, 46, 49)が有望と考えられる(図-11)。

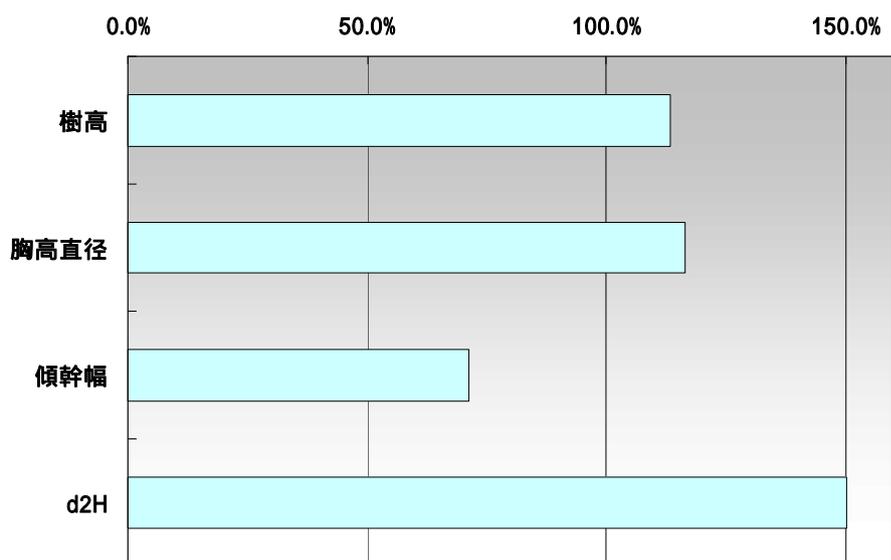


図-11 選抜4系統(R34、44、46、49)の雪害抵抗性候補木65系統全平均に対する割合

本研究報告では、解析に供する検定林調査データが揃っていないため、雪害抵抗性系統と精英樹の形質比較はできなかったが、今後、検討すべき重要課題である。一般の採種園で交配に寄与する花粉樹は全体の構成クローンの60~70%、系統ごとでみると3系統による累積寄与率がおおよそ37%、4系統で47%を占めることから(19)、特定交配で同じ母樹に異なる花粉樹の組み合わせ3~4系統

を一つの家系として考え、一般交配能として解析することが可能と考えられる。今後、雪害抵抗性候補木と精英樹による要因交配設計の次代検定林（東耐雪秋県7号と秋県単12,13号）における15年次調査を実施した上で、上記の解析を実施したい。

本研究成果の実用化の一つとして、雪害抵抗性能の高い精英樹と雪害抵抗性優良系統を用いたミニチュア採種園を造成し、雪害抵抗性に特化した種子を供給することも考えられる。一般的にミニチュア採種園には25～30系統が必要とされ、本研究では精英樹23系統、雪害抵抗性23系統、交雑15系統を選抜したのでこれらの選抜系統による採種園造成はまったく支障なく可能である。なお、精英樹の場合、傾幹幅の系統評価値が3であっても4に近い場合、特に材積成長が優れる場合、採種園の構成クローンとして導入することを考慮しても実質上、問題ないと考える。そして、今回の交雑15系統は10年次データなので、15年次調査によって優良家系を確定していくことが重要と考えられる。

本県のスギを合板用途としてみた場合、伐期は30～40年と考えられる。また、最近の研究成果から、遺伝解析によってスギの中期成長は、若齢期と異なる遺伝子が発現し、作用することが推察され、母樹特性が強く影響する可能性が示唆されている(12)。これらのことから、本県においても優良家系の中から優良個体を選抜する場合、30年次調査データの解析が必要とされる。大分県のメアサスギは若齢期に根元曲がりや幹曲がりが見られるが、壮齢期以降には回復することが知られており(31)、用材に適したスギの育種に関しては根元曲がり回復しやすい系統を選抜する必要がある。特に秋田スギは高樹齢になっても樹体の成長力が衰えにくいことから(29)、長伐期施業と併せた根元曲がり少ない品種開発の方向と、近年、重要拡大傾向が見られる合板用途として若齢木～壮齢木で利用可能な品種開発と分けて考えていく必要がある。ちなみに本県で選抜した精英樹は壮齢期である40～60年生で選抜されたものが大部分である(3)

つぎに根元曲がり花粉樹と母樹の組み合わせ効果が高いことから、採種園の設定場所について論じたい。採種園産種子は園外から流入する花粉も園内の精英樹同様、受粉に寄与することが近年の遺伝子マーカーを用いた研究によって国内外で定説になっている(19)。しかしながら、CotterillとDean(6)は採種園の経営はロー・コスト・オペレーションが基本としているように、林業用種苗の生産はキャッシュ・フロー（投資資金と回収資金の差）の観点から判断することが重要と提起した。アメリカの事例をみても特定交配はテグマツで0.4%、スラッシュパインでもわずか1.7%とほぼすべての森林所有者は採種園外花粉を許容する一般交配の採種園産種子を利用している(32)。なお、採種園の世代でみると秋田県内では1.5世代に対し、アメリカでは1～1.5世代が46%、第二世代が54%、第三世代が0%となっており、米国の場合、第一世代の育種計画による木材収穫量が8～12%の向上、第二世代でさらに4～8%が改良されている(37)

当センター精英樹の一般交配の次代検定林調査に基づく遺伝解析(26、27)東北地方の雪害抵抗性の感受性と非感受性系統の人工交配による遺伝解析(12)、および九州の精英樹人工交配(16)からも雪害抵抗性が花粉樹による影響を受けやすいことが示唆されており、雪害抵抗性の採種園設計には考慮すべき点と考えられる。園外花粉を除去する方法として、袋がけと人工交配を組み合わせる方法やガラス温室で送風機を用いた交配を行なうハウス内採種園が考えられる。しかし、これらの方式では集約的管理が必要となり、一般的に普及しているオープン型採種園として、種子生産コストが上昇するとされている(22)

そこで、以下の理由から採種園外花粉を積極的に活用する採種園を提案したい。渡辺(36)はミニチュア採種園のスギが冬季の埋雪によって冷却され、一般的に普及しているオープン型採種園と開花時期に遅れが生じ、時間的に分離できる可能性を報告している。また、育種種子の普及が進展した今日、県内では園外に存在するスギはほぼ精英樹のF1であると考えられる。さらに、平野部に位置する秋田市内では3月下旬から4月中旬にかけてスギ花粉が飛散する一方、県南部の標高が高い次代検定林では平野部で花粉飛散が終了する5月上旬以降でも多くのスギ花粉が雄花の花粉嚢内に残存し、飛散することが確認できている。県内においては最深積雪量が1mを越えない平地では根元曲がり被害が少ないため、遺伝的に根元曲がり大きい個体も表現型としては根元曲がりマスキングされる可能性が高い。そこで、雪害地に採種園を設定し、周辺の根元曲がり激しい個体を除伐して根元曲がりを増加させる個体よりも根元が曲がりにくい個体を増やし、根元曲がりの少ない遺伝子の空中花粉密度を高めると、標高の高い山間部に位置する採種園では地理的・時間的に平野部に飛散するスギ花粉と隔離され、根元曲がりの遺伝特性を向上した種子生産が可能と考える。この場合、花粉症対策として注目されているスギ花粉飛散シミュレーションによって花粉飛散動態を把握し、採種園外花粉の影響が大きそうな林分を推定し、重点的に改良を行なうと育種種子の改良効果はより高まると考えられる。

最後に、選抜および開発品種の適用範囲についてである。根元曲がりは樹高や胸高直径などと同様、不連続な量的遺伝形質であり、質的遺伝形質とは異なること、また、最深積雪が顕著な地域では環境要因の影響を大きく受けることを理解し、活用していくことが重要である。本研究で実施した個々の検定林レベルでの根元曲がり量は概ね0.2～1mなので、選抜および開発品種はこのような少雪地域の積雪環境下で育種効果を示す。なお、雪害の原因には微地形に起因し、春先にグライドと呼ばれる表層雪崩が生じる場合もあり、植林には十分な注意が必要な林地が存在することも知られている(21)。したがって、本研究で選抜した品種の活用範囲としては秋田スギの良質材生産を目的として策定した良質材生産可能地(4)を中心とし、活用上の留意点を補足説明しつつ、普及していくことが望ましいと考えられる。

謝 辞

本研究を推進するにあたり、交配家系の試験設計からデータ解析に至るまで(独)林木育種センター東北育種場の皆様から多大なるご支援、助言をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) 秋田県農林水産部(2003) 間伐技術指針.
- (2) 秋田県林業技術センター(1991) あきたの林木育種. 秋田.
- (3) 秋田県林業技術センター(1984) 秋田県におけるスギの育種 特にスギ育種種子について
- (4) 秋田県林務部(1977) 良質秋田スギ生産推進対策.
- (5) 秋田県林務部(1978) 造林地の雪害・寒害防除技術.
- (6) Cotterill, P. and Dean C. (2004) Eighteen years later:breeding strategy-Don't forget underestimate

simplicity. Proc. 2004 IUFRO Joint Conference of Division 2. pp. 22

(7) 豪雪地帯林業技術開発協議会編(2000)雪国の森林づくり スギ造林の現状と広葉樹の活用 . 27-44pp, 日本林業調査会, 東京 .

(8) 原雅継(1981)雪害とスギ品種の現状から 林木の育種 121:5-11

(9) 平英彰(1987)スギ根元曲りの形成機構と成長制御に関する研究. 富山県林試報:12

(10) 梶原康太郎(2005)国産材(スギ)製材の将来展望. 林業経済 58:1 - 15

(11) 倉本哲嗣, 平岡裕一郎, 中島久美子, 井上祐二郎, 柏木学, 藤澤義武(2007)20年生時と30年生時のスギクロン地域差検定林データの解析結果に基づく九州育種基本区におけるスギ精英樹の成長特性に関する考察. 林育研報 23:1-9

(12) 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選抜() 壮齢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 . 林育研報 17:177-188

(13) 栗延晋(2006)林木育種のための統計解析() 一箇所の検定林データの解析 - 林木の育種 220:58-63

(14) 栗延晋(2006)林木育種のための統計解析() 複数の検定林データの解析:基本モデル - 林木の育種 221:36-39

(15) 三浦真弘, 柏木学, 河崎久男(2007)20年間の検定林データを使用したスギ次世代精英樹の一検定林からの選抜. 第118回日本森林科学会講演要旨 P2e18

(16) 宮下智弘, 向田稔, 河崎久男(2006)スギの雪圧害抵抗性の遺伝特性. 日林誌 88:114-119

(17) 宮下智弘, 中田了五, 河崎久男(2006)一検定林データに基づく雪害抵抗性検定林からの選抜手法の検討. 第117回日本森林学会講演要旨 2A15

(18) 宮浦富保(1998)検定林データの分散分析プログラム 林育研報 15:251-258

(19) 森口喜成, 後藤晋, 高橋誠(2005)分子マーカー情報に基づく採種園の遺伝的管理. 日林誌 87:161-169

(20) 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齢期における雪害抵抗性の発現様式. 林育研報 15:227-241

(21) 小野寺弘道(2001)雪と森林に関する研究 - これまでとこれから - 雪と造林 12:1-4

(22) 林木育種学(1991)大庭喜八郎, 勝田柁編著 文永堂出版, 東京 .

(23) 林木育種推進東北地区協議会編(2000)スギ雪害抵抗性系統特性表. 林木育種センター東北育種場, 岩手 .

(24) 林木育種推進東北地区協議会編(2003)東北育種基本区スギ精英樹特性表. 林木育種センター東北育種場, 岩手 .

(25) 林野庁(1977)根元曲がり発生機構と積雪環境試験. 林野庁林業試験研究報告書

(26) 佐々木揚, 矢田部隆, 佐々木明夫(2005)スギ精英樹系統と雪害抵抗性系統の特定交配家系の10年次成長特性. 東北森林学会 8:17-22

(27) 佐々木揚(2007)雪圧害(根元曲り)に強い秋田スギの開発. 東北の林木育種 183:4-5

(28) 佐藤啓祐(1981)雪害と保育 林木の育種 121:16-19

(29) 澤田智志(2004)長期育成循環施業に対応する森林管理技術の開発. 秋田県森技研報 13 pp.65-88

(30) Shelbourne, C.J.A. (1972) Genotype-environment interaction: its study and its implications in forest tree improvement. IUFRO Genetics SABRAO joint symposia B-1, Tokyo, 1-8

(31) 塩川彰 (1994) 直い木と曲がった木. 随想森林 73 - 76

(32) Steve Mckeand, Tim Mullin, Tom Byram and Tim White (2003) Deployment of Genetically Improved Loblolly and Slash Pines in the South. Journal of Forestry, April May :32-37

(33) 外山三郎 (1979) スギの育種. 林木育種センター東北育種場, 岩手.

(34) 塚原初男, 大谷博彌, 須藤昭二 (1976) 豪雪緩斜地における実生スギ造林木の樹間距離と根元曲り. 日林東北支誌 28:183-185

(35) 塚原初男, 大谷博彌, 須藤昭二 (1978) 豪雪地における実生スギの根元曲りと幹のかたちとの関係. 日林東北支誌 30:149-151

(36) 渡辺公一 (2007) 多雪地帯におけるミニチュア採種園の受粉動態. 東北の林木育種 183:6-7

(37) Weir R.J. (1996) The impact of genetics on forest productivity.
<http://forestry.auburn.edu/sfnmc/class/genetic.html>