

スギの各種抵抗性育種に関する研究

— スギカミキリ抵抗性育種 —

～ スギ内樹皮厚の変異からみた抵抗性種苗の林地適用時に留意すべき諸点の検討 ～

(県単課題 平成8年～平成11年度)

川上鉄也

目 次

| | |
|--|-----|
| 要 旨 | 93 |
| I 緒 言 | 94 |
| II 調査方法 | 95 |
| 1. スギ内樹皮厚の変異 | 95 |
| (1) 個体内の変異 | 95 |
| (2) クローン内の変異 | 95 |
| (3) クローン間の変異 | 96 |
| 2. 枝葉の除去処理による樹脂滲出量の変化と幼虫死亡数 | 97 |
| 3. 精英樹クローン集植場における成虫の個体数動態と分布の集中性 | 97 |
| III 結果と考察 | 98 |
| 1. スギ内樹皮厚の変異 | 98 |
| (1) 個体内の変異 | 98 |
| (2) クローン内の変異 | 99 |
| (3) クローン間の変異 | 100 |
| 2. 枝葉の除去処理による樹脂滲出量の変化と幼虫死亡数 | 101 |
| 3. 精英樹クローン集植場における成虫の個体数動態と分布の集中性 | 104 |
| IV 総合考察 | 106 |
| (1) 内樹皮厚の変異からみた抵抗性種苗の適用区域決定の重要性 | 106 |
| (2) 被害低減へ向けた総合対策の必要性 | 106 |
| V 引用文献 | 107 |

要 旨

1. スギカミキリ抵抗性育種事業で抵抗性候補木の選抜基準とした樹脂の流出と関連する形態形質である内樹皮厚の林地における変異について検討した。林地においては内樹皮厚の変異幅は非常に大

平成12年4月5日 受理 (※本報の一部は、1997年11月に開催された第27回林木育種研究発表会で口頭発表した。)

大きく、個体内では樹幹部と比較して枝基部の内樹皮厚が有意に厚かった。枝基部では内樹皮年輪の褶曲が観察され、年輪界が不明瞭で樹幹部とは相違していた。また、枝葉が着生する樹高4 m以上で内樹皮厚が厚くなる傾向があった。胸高直径、樹高の測定値から、ほぼ同一の成長量を示していると判断されるクローン内にも隣接個体間競争により特異的に内樹皮厚が他と極端に異なる個体が存在することが示唆された。精英樹クローンによる次代検定林を用いて、内樹皮厚のクローン間差について検討した。その結果、設定が正確な検定林においては内樹皮厚のクローン間差は明瞭に現れたが、交互作用が見られる検定林もあり、内樹皮厚は他の形質同様に、立地環境による影響も少なくないことが示された。

2. 枝葉の除去処理による樹脂滲出量への影響と人工接種した幼虫の死亡数について検討した。その結果、強度の枝葉除去処理によっても樹幹部の傷害樹脂道形成能、樹脂滲出量にあまり変化はなく、幼虫の死亡数に明かな差は生じなかった。しかし、枝基部の樹皮肥厚部の被害面積が有意に大きく、枝基部が幼虫の好適な生存環境のひとつとなっていることが示唆された。

3. 精英樹クローン集植場において成虫の個体数の動態と分布の集中性について検討した。寒冷紗トラップによる成虫の捕獲効果は高く、調査期間中207頭を捕獲した。また、連年にわたる激害林分であるにもかかわらず、精英樹クローンの違いにより、明らかな分布の集中性が見られた。

抵抗性個体確定後、抵抗性種苗はクローン苗で供給されるが、抵抗性発現には、種苗の適用範囲の設定が必要であり、さらに総合的な被害対策として施業による抵抗性の付加、防除による成虫密度の抑制(被害発生源対策)が、重要であることを指摘した。

I 緒 言

スギカミキリ抵抗性スギの育種は、地域虫害抵抗性育種事業により、昭和60年から各育種基本区単位で事業が開始され、傷害樹脂道形成能力の差異に着目した簡易検定による候補木選抜と、それに続く網室放虫検定(第1次検定)、さらに幼虫接種検定(第2次検定)を経て抵抗性個体が選定されることになっている¹⁾。本県においても昭和63～平成2年度にかけて簡易検定により、激害林分から37候補木を選抜して増殖ののち、関東林木育種区の本格検定実施機関の林木育種センターに送付した²⁾。同事業に先行着手した関西育種基本区内では候補木675個体が選抜されたが、上記の検定を経て、最終的に18個体を合格木として確定し公表しており、当初選抜した候補木数からみればその約2.7%を抵抗性個体として判定したことになる³⁾。

スギカミキリ抵抗性スギの育種では、傷害を受けた内樹皮に形成された傷害樹脂道からの樹脂流出がスギカミキリの加害に対するスギの有力な抵抗性要因のひとつであることが指摘され^{4),5)}、傷害樹脂道の形成能力の判定による抵抗性候補木の選抜が行われた。候補木選抜は環境変動の激しい野外の人工林で行われたが、それに続く検定作業は環境条件が比較的均一な実験圃場で行われる。樹脂滲出能に着目した簡易検定合格木の出現頻度は内樹皮厚が薄皮<中庸<厚皮の順に次第に高まり、内樹皮で起こる生理反応として抵抗性に関与する障害樹脂道形成能と樹脂滲出能の2つの機能の発現の場として内樹皮をとらえれば、内樹皮厚は抵抗性にかかわる構造的な実用形質のひとつとして注目する必

要があることが指摘されている⁶⁾。

実験圃場において抵抗性が確定した抵抗性個体を实际的に運用する場所は、環境変動の激しい野外の造林地であり、その種苗は遺伝的に同一なクローン苗として、当初は供給される。抵抗性種苗に遺伝的に付与されるべき樹脂滲出能が林地において十分に発揮されるためには、その機能発現のための構造としての内樹皮厚が再現性良く確保されていなければならない。

ところで、精英樹クローン苗で構成される次代検定林において、内樹皮厚をみると、遺伝的に同一なクローンでも実際の林地では厚いものから薄いものまで個体間に変異があるように思われる。内樹皮厚は品種間で相違があることはこれまで多数の報告があるが、抵抗性種苗の实际的な運用の場である環境変動の激しい林地において、内樹皮厚に関して発生する変異幅の検討は、抵抗性個体の適用範囲の限定や運用上の留意点を明らかにするために、きわめて重要な課題である。

本報告では、クローン管理された次代検定林を用いて、環境変動の激しい林地における内樹皮厚の変異について調査し、つぎに枝葉の除去処理がスギの樹脂道形成や樹脂滲出量に与える影響と、幼虫死亡率との関係について調査した。さらに、バンド巻き法を利用して精英樹集植場における成虫の動態について調査し、遺伝的な抵抗性特性を持つ抵抗性種苗の運用上、予想される留意点について検討した。さらに抵抗性を付加する補助的な施業や、防除的手法の必要性について検討した。

II 調査方法

1. スギ内樹皮厚の変異

(1) 個体内の変異

① 調査地および材料

調査には、いわき市田人町に、昭和48年4月に設定された次代検定林「関福6号」を用いた。精英樹10クローン(西白河2号、西白河3号、双葉2号、田村1号、石城1号、東白川1号、東白川8号、岩瀬1号、相馬6号、南会津5号)をA、Bブロックから、1クローンにつき3本ずつ合計60本供試した。

② 調査方法

1997年11月に供試木の形状測定と内樹皮試料の採集をした。形状測定は全供試木の胸高直径を輪尺で測定し、伐倒後、樹高と枝下高を巻き尺で測定した。内樹皮試料はポンチ($\phi=12\text{mm}$)を用い、スギの樹幹部と枝基部とに部位を分けて採取した。樹幹部は地際部～梢端部まで1.0m単位で方位別(N、S)に採取し、枝基部は最下層の枝から上部に向かって順番に10本の枝の着生部直下の内樹皮を採取した。採取樹皮は直ちに20%ホルマリン液内に浸し固定したのち冷蔵庫内で保存した。内樹皮の測定は、外樹皮と材部を取り除いた後、内樹皮の切片を作成し読取顕微鏡を用いて100分の1mm単位まで測定した。

(2) クローン内の変異

① 調査地および材料

調査には、いわき市田人町に、昭和48年4月に設定された次代検定林「関福6号」を用いた。

検定林内の凹型地形部を横断して列状植栽された双葉2号、相馬6号の2クローンをそれぞれ12本ずつ合計24本供試した。

② 調査方法

1997年11月に供試木の形状測定と内樹皮試料の採集をした。形状測定は全供試木の胸高直径を輪尺で測定し、伐倒後、樹高と枝下高を巻き尺で測定した。内樹皮試料はポンチ($\phi = 12\text{mm}$)を用い、胸高部から方位を問わずに1個体につき5個採取し、その平均値を個体の内樹皮厚の代表値とした。採取樹皮は直ちに20%ホルマリン液内に浸して固定したのち冷蔵庫内で保存した。内樹皮の測定は、外樹皮と材部を取り除いた後、内樹皮の切片を作成し読取顕微鏡を用いて100分の1mm単位まで測定した。

(3) クローン間の変異

① 調査地および材料

調査には、次代検定林「関福7号」および「関福8号」の2つを用いた。この次代検定林は3ブロックからなる乱塊モデルで設定されている。福島県においては気象や環境条件が地域によって異なるため、あらかじめ県内を6検定区に区分して次代検定林を配置している。「関福7号」は福島検定区に属し、「関福8号」は郡山検定区に属しており、両者は異なる検定区に配置されている。各次代検定林の概要は表-1のとおりである。「関福7号」では、信夫1号、石城1号、石城2号、南会津11号、東白川1号、東白川2号、東白川5号、東白川8号、東白川10号の9クローンを3ブロックから各々3本ずつ合計81本供試し、「関福8号」では、信夫1号、石城1号、石城3号、西白河2号、田村1号、岩瀬1号、南会津2号、南会津5号、南会津8号、東白川1号の10クローンを3ブロックから各々3本ずつ合計90本供試した。

表-1 各次代検定林の概要

| 検定林名 | 検定区 | 所在地 | 設定年月 | 標高 | 斜面方位 | 傾斜 | 降水量 | 土壌型 | 基岩 |
|------|-----|-------------|-------|---------|---------|-------|------|-----|---------|
| 関福7号 | 福島 | 伊達郡川俣町大字古綱木 | S49.6 | 340 | N NE SW | 25~35 | 1016 | BD | 古期花崗閃緑岩 |
| 関福8号 | 郡山 | 郡山市湖南町大字館 | S50.6 | 600~650 | W | 25~30 | 1460 | BD | 第三紀下部層 |

② 調査方法

「関福7号」は1998年11月、「関福8号」は1999年11月に内樹皮試料を採集した。あらかじめ立木の胸高直径を測定し、各クローンの胸高直径の平均値に最も近い標準木を1ブロックにつき3本ずつ選定した。樹高は個体を伐倒後、巻き尺を用いて測定した。内樹皮試料はポンチ($\phi = 12\text{mm}$)を用い、胸高部から方位を問わずに1個体につき5個採取し、その平均値を個体の内樹皮厚の代表値とした。採取樹皮は直ちに20%ホルマリン液内に浸して固定したのち冷蔵庫内で保存した。内樹皮の測定は、外樹皮と材部を取り除いた後、内樹皮の切片を作成し読取顕微鏡を用いて100分の1mm単位まで測定した。

2. 枝葉の除去処理による樹脂滲出量の変化と幼虫死亡数

(1) 調査地および材料

調査には林業試験場構内のアカマツ林内に、ほぼ同じ環境条件下で生育している実生起源のスギ15本を供試した。供試木は平均胸高直径15cm(最小12cm、最大17cm)、平均樹高10m(最小9m、最大13m)樹齢21~26年生で、スギカミキリによる食害痕などの被害が外観上認められない個体を用いた。

(2) 調査方法

1996年3月中旬に、樹幹部形状等の測定結果をもとにして、概ね30%切除処理区(3本)、60%切除処理区(3本)、85%切除処理区(3本)、100%切除処理区の合計4つの枝葉の切除、断幹人工処理区と1つの無処理区(3本)を設定した。

同年5月下旬、供試木の樹幹を地上高0~1、1~2、2~3、および3~4mの各階層に区分し、各階層毎に上下各2カ所、供試木1本につき合計16カ所にカッターナイフで外樹皮に間隙を作り、筆を用いて孵化幼虫を挿入、接種した。接種時には1カ所当たり2頭以上の幼虫の穿入を確認した。また、上記の各階層の中央部において⁷⁾の方法に準じて、外、内樹皮を幅30mm程度切除処理した。処理当日から5週目まで毎週、切除部から1cm程度上部の内樹皮を持ち帰り、内樹皮第1、2年輪の樹脂道形成状況と、切断面からの樹脂滲出量を調査した。樹脂道形成状況は切除切片幅30mmのうち1mmを1点とし、全体にわたって樹脂道形成が見られるものを最高の30点としてランク評価した。また樹脂滲出量は切除切片幅を4等分して各々ランク付けをしたのち、4つのランクの合計点を算出して切除部1カ所あたりの滲出量として16段階にランク評価した。同年9月上旬に供試木を伐倒したのち、カッターナイフを用いて幼虫の接種箇所から樹皮を丁寧に剥皮して、食害痕をOHPフィルムに写し取ったのちプランニメーターで食害面積を測定し、同時に接種幼虫の生死状況とその死亡原因について調査した。

3. 精英樹クローン集植場における成虫の個体数動態と分布の集中性

(1) 調査地および材料

調査には、昭和44年に設定された林試構内のスギ精英樹集植場を用いた。設定時には県産精英樹70クローンが各々3本列状植栽されていたが、連年のスギカミキリ被害や風倒による枯損等で、植栽木の一部または全てが消失した精英樹クローンがある。そこで、3本全てが生残する35精英樹、合計105本を調査対象とした。

(2) 調査方法

調査は1997年から1999年の3カ年にわたって実施した。成虫の捕捉には、バンド巻き捕獲法⁸⁾を用い、スギ胸高部に0.3×1mの黒色の寒冷紗バンドを幹周程度巻き付け、中央部を紐で固定した。成虫の羽化脱出の始まる4月上旬から脱出が終了する5月中旬にかけてほぼ毎朝、バンド内にひそむ成虫を捕捉回収し、成虫の性別と捕捉できた精英樹クローンの位置番号を記録した。

Ⅲ 結果と考察

1. スギ内樹皮厚の変異

(1) 個体内の変異

はじめに、個体内で生じている内樹皮厚の変異を検討した。内樹皮厚が樹幹の向きによって異なることが予想されたため、あらかじめ樹幹部1.2m部位の北側と南側の2方位に分けて内樹皮厚を比較した結果、両者の間に有意差は見られなかった。このことから、内樹皮の試料採集時には、特に方位は考慮せずに任意抽出をおこなった。

内樹皮厚を樹幹部と枝基部に層別した結果、樹幹部で観察された内樹皮厚は平均 1.57 ± 0.01 mmで最小が0.64mm、最大では2.83mmのものがあり、データは尖度の高い正規に近い分布を示した。一方、枝基部は平均 2.80 ± 0.03 mmで最小が0.71mm、最大で6.21mmのものも観察され、全体では、なだらかな正規に近い分布を示し(図-1)、両者の間には有意差が認められた($t < 0.01$)。幼虫食害に対する防御機能としての樹脂滲出という要因を排除して考えると、構造的に見て、枝基部は樹幹部に比較してすこぶる厚く、内樹皮を幼虫の生存環境や摂食空間として考慮すると、両者は同じではないことが示された。

また、顕微鏡による観察では、樹幹部では明瞭な内樹皮年輪が観察されたが、枝基部では褶曲し

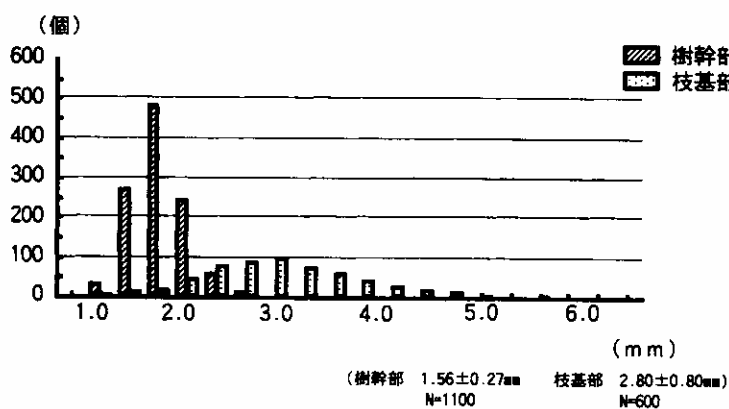
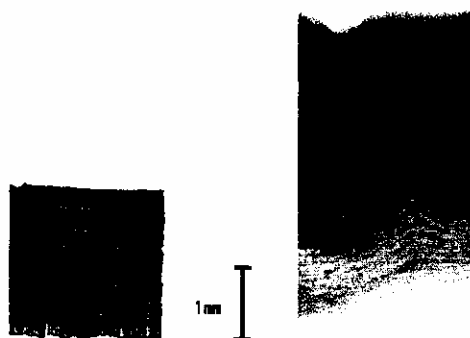


図-1 部位別の内樹皮厚のヒストグラム



(南会津5号 樹幹部1.2m高) (南会津5号 枝基部)

写真-1 部位による内樹皮年輪の相違

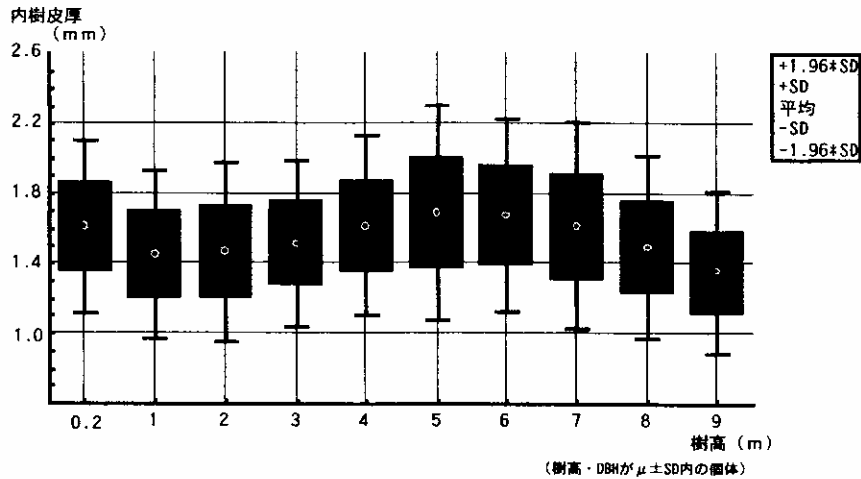


図-2 樹幹部内樹皮厚の樹高による相違

ているものが数多く観察され、その年輪界が不明瞭で、明確に区分できる内樹皮年輪は比較的少なかった(写真-1)。

全供試木を込みにして、高さ別に樹幹部の内樹皮厚を比較した結果、全供試木の枝下高は平均5.3 m(最下3.3m、最上9.0m)であったが、枝の着生がない樹幹部が比較的薄く、地際部と枝が着生し始める樹高4 m 付近から上部の樹冠部の内樹皮厚が比較的厚いという傾向がみられた(図-2)。

(2) クローン内の変異

ここでは、林地の微地形によってクローン内に生じる内樹皮厚の変異を検討した。双葉2号、相馬6号の各個体の植栽された斜面傾斜の模式図と、その胸高直径、樹高の平均値を表-2に示した。胸高直径、樹高の平均値を2つのクローン間で比較すると、両者はともに同様な平均値を示していた。しかし、個体毎に胸高直径、樹高を比較すると、凹地形底部の個体は胸高直径、樹高ともに大きめの値を示し、続く斜面部ではその値が小さくなる傾向が窺えた。双葉2号はどの個体も全体の平均値の近くに、ほぼ集中した散布を示したが、相馬6号は、D個体のように、胸高直径、樹高は、比較的平均値に近いが、内樹皮厚のみが平均値の下方に極端にずれた個体が見られた(図-3)。D個体に隣接する個体の胸高直径は、いずれも平均値を上回る一方、D個体の胸高直径は小さかった。

| 個体符号 | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | 平均値 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------|
| 双葉2号 DBH(cm) | 13 | 13 | 16 | 18 | 18 | 13 | 10 | 11 | 11 | 11 | 12 | 12 | 13.2 |
| 双葉2号 樹高(m) | 11 | 12 | 14 | 12 | 15 | 10 | 9 | 11 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10.7 |
| 相馬6号 DBH(cm) | 13 | 16 | 16 | 10 | 13 | 12 | 13 | 13 | 15 | 14 | 12 | 10 | 13.1 |
| 相馬6号 樹高(m) | 10 | 12 | 13 | 12 | 9 | 8 | 10 | 9 | 11 | 10 | 10 | 8 | 10.2 |

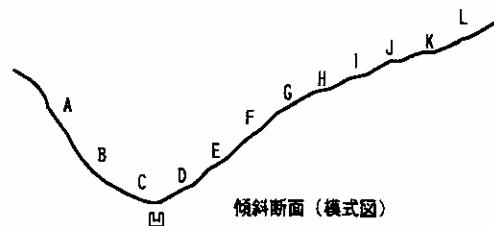


表-2 調査個体の形状と斜面上の位置

このことから、胸高直径、樹高の外部形態からはほぼ一様に見えるクローン内にも、隣接個体間競争の結果、被圧を受け、特異的に他とは異なる内樹皮厚を持つ個体が存在することが示唆された。内樹皮厚は胸高直径との相関が高い⁹⁾とされるが、同一齢、同一クローン内において、外部形態としての胸高直径の比較により、個体単位に発生する特異な内樹皮厚を持つ個体を特定することは、比較的容易であることを示している。

(3) クローン間の変異

ここでは、林地において生じる内樹皮厚のクローン間差について検討した。

内樹皮厚と胸高直径および樹高の3形質について、クローンとブロックを要因とした繰り返しのある2元配置の分散分析をおこなった。2つの検定林における3形質の分散分析による分散比を表-3に示した。2つの検定林ともに、胸高直径は有意差を示しておらず、この結果は、あらかじめ各クローンの標準木を選定した効果を良く表している。樹高については「関福7号」においては1%水準で、「関福8号」においては5%水準でそれぞれ有意性を示した。一方、内樹皮厚はどちらの検定林においても1%水準で有意性を示しており、標準木をクローンの代表値として用いた場合におけるクローン間の内樹皮厚の差異を明瞭に示した。

また、クローン×ブロック交互作用については「関福7号」では、1%水準で有意となった。このことから検定林のブロック設定が一様ではないことが推定され、有意差の見られた内樹皮厚のクローン間差が、そのみを示しているとは言いがたい。「関福7号」について、さらにブロックを要因としたLSD検定による多重比較をすると、Bブロックにおいて他の2ブロック間と有意差が

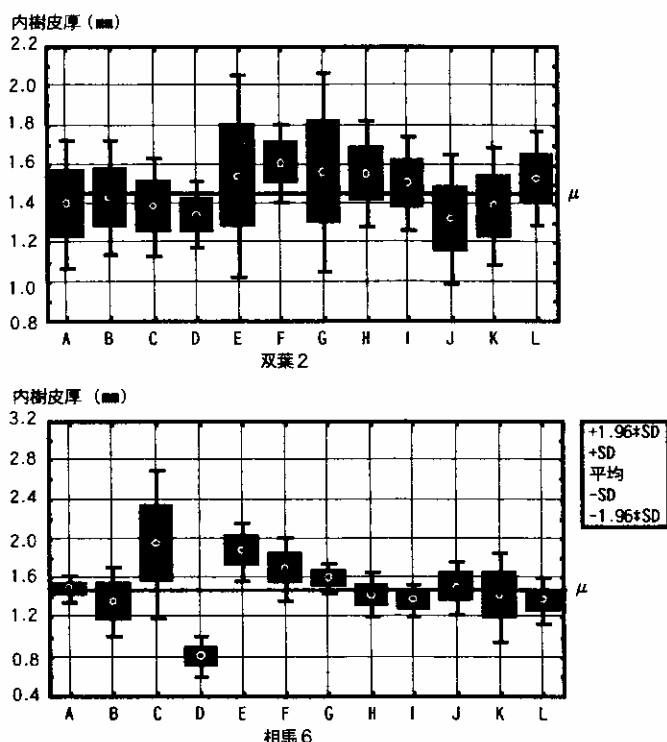


図-3 個体別内樹皮厚の相違

表-3 2つの次代検定林における各形質の分散分析による分散比

| 関福7号 | 要因 | 自由度 | 内樹皮厚 | 胸高直径 | 樹高 |
|------|---------|-----|-----------|-----------|------------|
| | A(クローン) | 8 | 3.2118 ** | 1.3316 | 5.4949 ** |
| | B(ブロック) | 2 | 3.7718 * | 9.7133 ** | 12.6148 ** |
| | A×B | 16 | 2.4363 ** | 1.3987 | 2.8196 ** |
| 関福8号 | 要因 | 自由度 | 内樹皮厚 | 胸高直径 | 樹高 |
| | A(クローン) | 9 | 4.2818 ** | 0.9518 | 2.4327 * |
| | B(ブロック) | 2 | 0.3772 | 0.0811 | 4.1845 * |
| | A×B | 18 | 0.9627 | 0.5654 | 1.2961 |

*は5%水準で有意；**は1%水準で有意

見られた。このことは、検定林内の3ブロックのうち、Bブロックの不均一性を示唆しているが、現地を再照査すると、Bブロックは尾根を跨いだ不均一な土壌条件下に設定されており、植栽木の成長量が比較的低位であることが推察された。以上のように内樹皮厚もまた、胸高直径や樹高と同様に、立地環境により大きな影響を受けることが示唆された。

一方「関福8号」においてはクローン×ブロック交互作用に有意性は見られず、その変異係数は16%であった。このことから、「関福8号」においては、林地において内樹皮厚のクローン間差を検討するための、比較的正確な設定がなされていることが推察された。さらに各クローンの内樹皮厚の母平均を求め、クローン間の有意差を検討するためにTukey検定による多重比較をおこなった。その結果、内樹皮厚の平均値が最も高い田村1号(1.65±0.17mm)と信夫1号(1.26±0.27mm)、石城1号(1.25±0.19mm)、石城3号(1.24±0.12mm)、岩瀬1号(1.23±0.20mm)の4水準間のみで有意差が見られた(図-4)。このことから林地においても、あらかじめ標準木を予備選抜したのちに、それらから試料を採集し比較すれば、立地環境がすこぶる変化に富んだ一般造林地においても、良好に内樹皮厚のクローン間差を検出できることが示された。

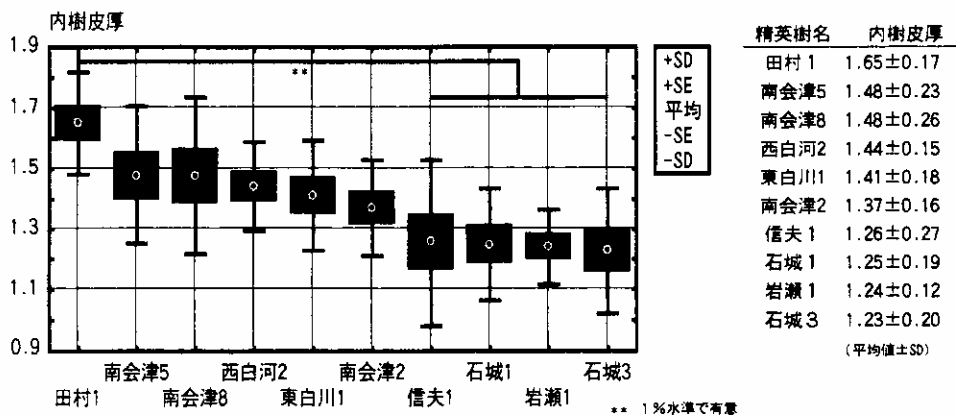


図-4 「関福8号」次代検定林における精英樹クローンの内樹皮厚

2. 枝葉の除去処理による樹脂滲出量の変化と幼虫死亡数

(1) 枝葉の除去処理と樹脂道形成、樹脂滲出量との関係

樹脂道形成については、第2週目においてのみ、表-4に示したような処理区間の有意差(順位和検定多重比較)が見られたが、各階層間では有意差は見られなかった。3週目以降は100%除去処理区以外の4処理区間にも、各階層間にも有意差は見られなかった。また、100%除去処理区は、調査期間を通して樹脂道は形成されなかった。

樹脂滲出量については、100%除去処理区は、調査期間を通して樹脂の滲出はなかった。100%除去処理区を除く4処理区間において、各処理区間にも各階層間にも有意差は認められなかった(順位和検定多重比較)。

各週毎の結果から、0~85%程度の枝葉の除去処理をしても、それが傷害を与えて2週目までの樹脂道形成に若干影響を及ぼすようであるが、3週目以降からは、100%除去処理区を除いた4処理区では、ほぼ同様に樹脂道を形成し樹脂を滲出するようであった。ただし、原因は不明だが、供

樹脂道の形成 (2週目)

| | | | | |
|------|-------|------|------|------|
| 85%区 | NS | | | |
| 60%区 | NS | NS | | |
| 30%区 | ** | NS | NS | |
| 無処理区 | ** | * | * | NS |
| | 100%区 | 85%区 | 60%区 | 30%区 |

樹脂道の形成 (3・4・5週目)

| | | | | |
|------|-------|------|------|------|
| 85%区 | ** | | | |
| 60%区 | ** | NS | | |
| 30%区 | ** | NS | NS | |
| 無処理区 | ** | NS | NS | NS |
| | 100%区 | 85%区 | 60%区 | 30%区 |

樹脂滲出量(2・3・4・5週目)

| | | | | |
|------|-------|------|------|------|
| 85%区 | ** | | | |
| 60%区 | ** | NS | | |
| 30%区 | ** | NS | NS | |
| 無処理区 | ** | NS | NS | NS |
| | 100%区 | 85%区 | 60%区 | 30%区 |

*は5%水準で有意；
**は1%水準で有意

表-4 各週毎の各処理間での樹脂道の形成
樹脂滲出量の有意性検定結果

試木によっては5週目に至ってもなお樹脂道形成が全く無いが、形成不全のまま推移する階層が存在し、それが幼虫の食害面積を容易に拡大させる要因のひとつであるとも考えられた。

(2) 枝葉の除去処理と幼虫の食害面積、生存状況および死亡原因の構成

食害面積については図-5に見るように各処理区ともに、そのデータ分布は大きく裾を引く分布であった。100%除去処理区以外の4処理区での食害面積の第3四分位数は10.4~13.1cm²で、数多くの幼虫が、食入後の比較的早い段階で死亡していた。

一方、100%除去処理区は中央値が他と比較して高く、四分位偏差も広い傾向にあり、他の4処理区の間には1%水準で有意差が見られた(Kruskal-Wallis検定)。前述のとおり、この処理区は樹脂道形成、樹脂滲出ともに無く、食害面積が拡大したものと思われた。

つぎに、幼虫の死亡原因は図-6に示すように、100%除去処理区以外は、ほぼ9割以上が樹脂による死亡であった。また、100%除去処理区では樹脂道由来の樹脂の滲出が無くても26.5%の幼虫が樹脂によって死亡したことが確認された。さらに、樹脂による死亡が少なくても、寄生蜂等、他の要因による死亡が多数確認され最終的な幼虫の生存率は著しく減少していた。100%除去処理区以外の4処理区で終齢幼虫になる以前に死亡した幼虫は約95%に及んでいる。最終的

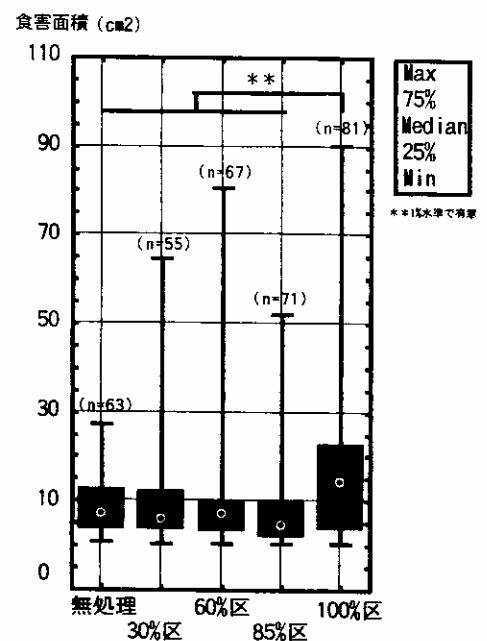


図-5 処理区別幼虫食害面積

に蛹室を形成した幼虫は、30%および60%除去処理区で各1頭ずつみられたのみであった。

ここで、様々な死亡原因を免れて終齢幼虫(5齢)以上にまで生存した幼虫に着目してみる。食害面積から、終齢幼虫になっていると推測される、食害面積 24cm^2 以上の幼虫は図-7に示すとおりで、食害面積 24cm^2 以上のものは100%除去処理区で18個体出現し、調査した全食害数の約21%と、その出現頻度は他の4処理区と比較して極端に高かったが、枝の付着する枝岐出部と、枝の付着が無い樹幹部で、層別した結果、有意差は見られなかった(U検定)。一方、枝葉の付着している4処理区では調査した全食害数の約5%の13個体出現した。同様に、枝の付着する枝岐出部と、枝の付着が無い樹幹部で層別してみると、樹幹部では終齢幼虫と推測されるものは5個体見られたが、そのいずれも食害面積 35cm^2 以下で死亡していた。一方、枝岐出部においては8個体みられ、その後も食害面積を拡大し、そのうちの2個体は蛹室を形成していた。このことは、樹脂の滲出が、幼虫死亡に関わる大きな要因となっているが、枝岐出部においては、樹脂滲出能が十分には発揮されていないことを示唆している。

蛹室は肥大成長が非常に盛んな部位において形成され、このような部位は、立木内では樹幹の下

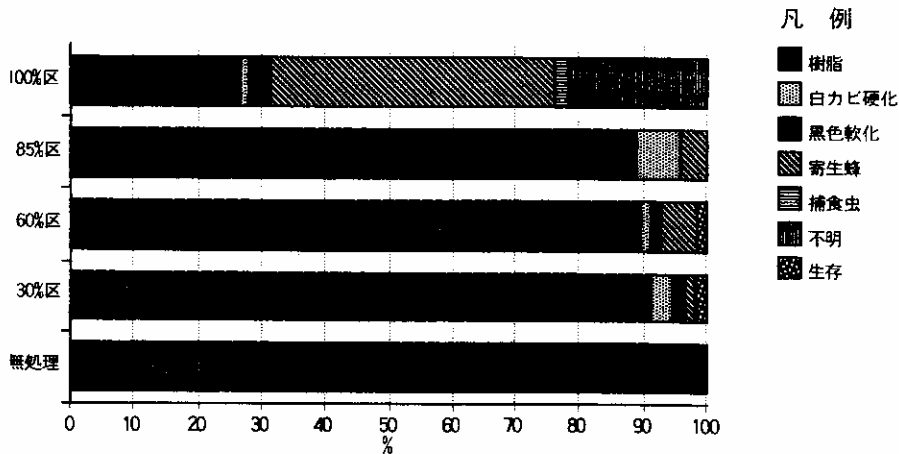


図-6 処理別幼虫死亡原因の構成

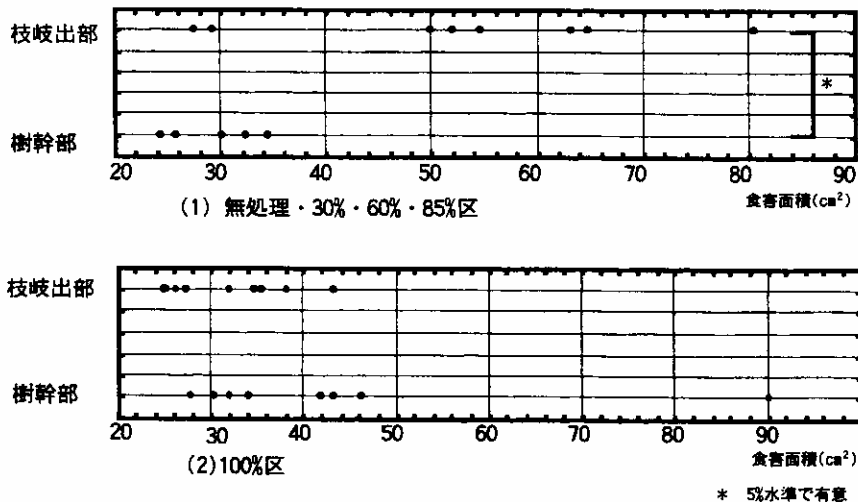


図-7 枝岐出部と樹幹部で層別した食害面積の散布図 (24cm^2 以上)

方から上方へ順次上昇していくことが知られており¹⁰⁾、また、樹体内での幼虫の分布は根元に近くなるほど多いが、同時に樹高の約5割程度までの高さに分布することが知られている¹¹⁾。

幼虫の摂食が容易な部位は、まず樹幹の根元部が挙げられるが、食害面積の調査時には、枝基部の樹皮肥厚部が、広範囲にわたり食害を受けている例が多数観察されており(写真-2)、今回の結果から、スギの加齢に伴って、さらに枝の岐出部も幼虫の生存にとって適好な環境となっていることが示唆された。今回の供試木は21~26年生であるために、樹脂滲出量、形成や他の要因で、幼虫の摂食が容易な部位が地際部や樹幹部から枝の岐出部に移行したために、このような結果を得たものと考えられた。

また、枝葉をある程度除去処理しても100%除去しない限り、それが樹脂道形成および滲出量に大きな影響は与えにくく、また樹脂以外の死亡原因によるものともあいまって、総合的に見た幼虫の生存率の低下にはそれほど重大な影響を及ぼすものではないことが示唆された。

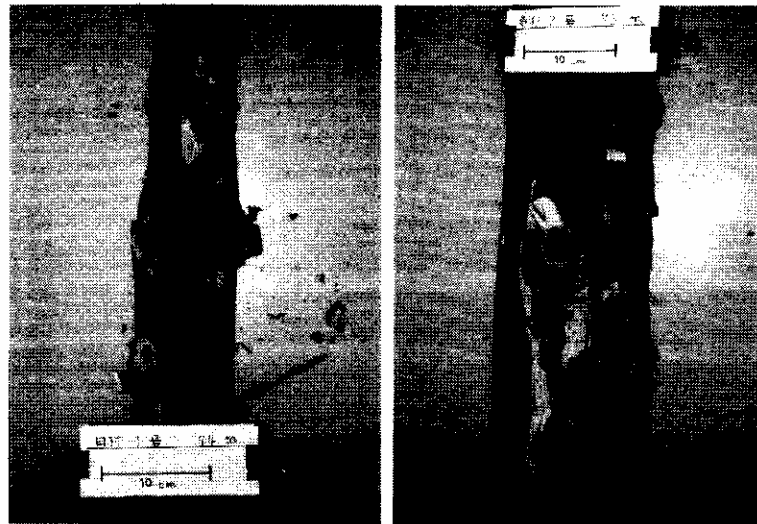


写真-2 枝岐出部の樹皮肥厚部で拡大する食害

3. 精英樹クローン集植場における成虫の個体数動態と分布の集中性

調査期間捕捉できた成虫数は1997年が97頭で性比は0.618、1998年が49頭で性比は0.551、1999年が63頭で性比は0.603で、雌がやや多く偏りがあった。捕捉した成虫数は3カ年累計で207頭に及んだ。捕獲虫数を全調査本数で平均した年当たり個体密度は約0.67頭/本であった。また、1999年に捕獲した成虫について性別に体長を計測したところ雄は 16.9 ± 0.4 mm、雌はやや大きく 21.7 ± 0.4 mmであり両者の間に有意差がみられた($t < 0.01$)。なお、捕捉した雌成虫は腹部に卵のつまった脱出後間もない個体が多かったが、既に産卵を終了したと思われる個体もわずかではあるが捕捉した。

つぎに、各年毎の捕捉成虫の累積曲線を図-8に示した。捕捉期間中で全捕獲数の50%を捕獲した日は1997年が4月23日、1998年が4月17日、1999年が4月23日で、脱出最盛期は4月中旬であり、3カ年とも脱出最盛期の指標とされるソメイヨシノの満開時期に、ほぼ一致していた。しかし、本調査では成虫捕捉の開始日を、便宜上、毎年4月13日に開始したが、スギカミキリ成虫の性比は0.5で、雄成虫が雌成虫よりも比較的早く羽化するという報告があり¹⁰⁾、本調査地における成虫の羽化脱出は

調査開始日以前には、既に始まっているものと推定される。

調査期間中に捕捉された成虫の精英樹別頻度分布を図-9に示した。3カ年連年累計した成虫捕捉数について、精英樹クローン別に χ^2 検定をおこなったところ、1%水準で捕捉数に有意差が認められた。このことは、成虫が全く任意に定着しているのではなく、ある程度の集中性をもって精英樹クローンに定着していることを示している。石城1号、双葉4号、東白2号、南会津5号、南会津8号等は、連年累計で10頭以上捕捉された個体がある一方で、東白川1号、東白川5号、南会津4号からは1頭も捕獲されていない。この精英樹クローンによる集中性は、連年の摂食利用によって幼虫が利

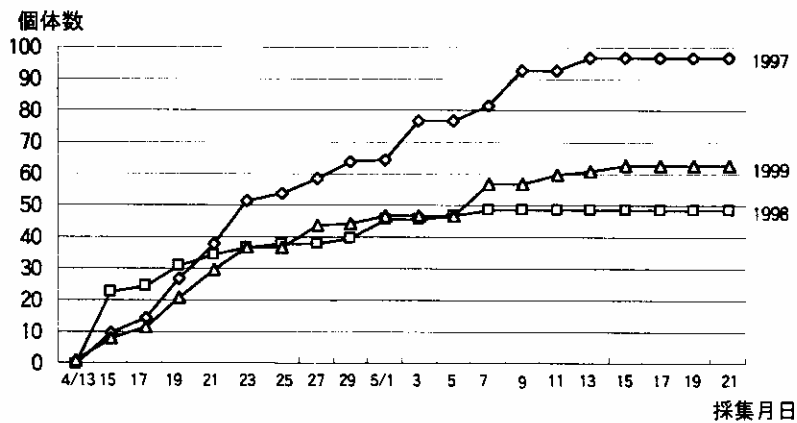


図-8 捕捉成虫の累積曲線

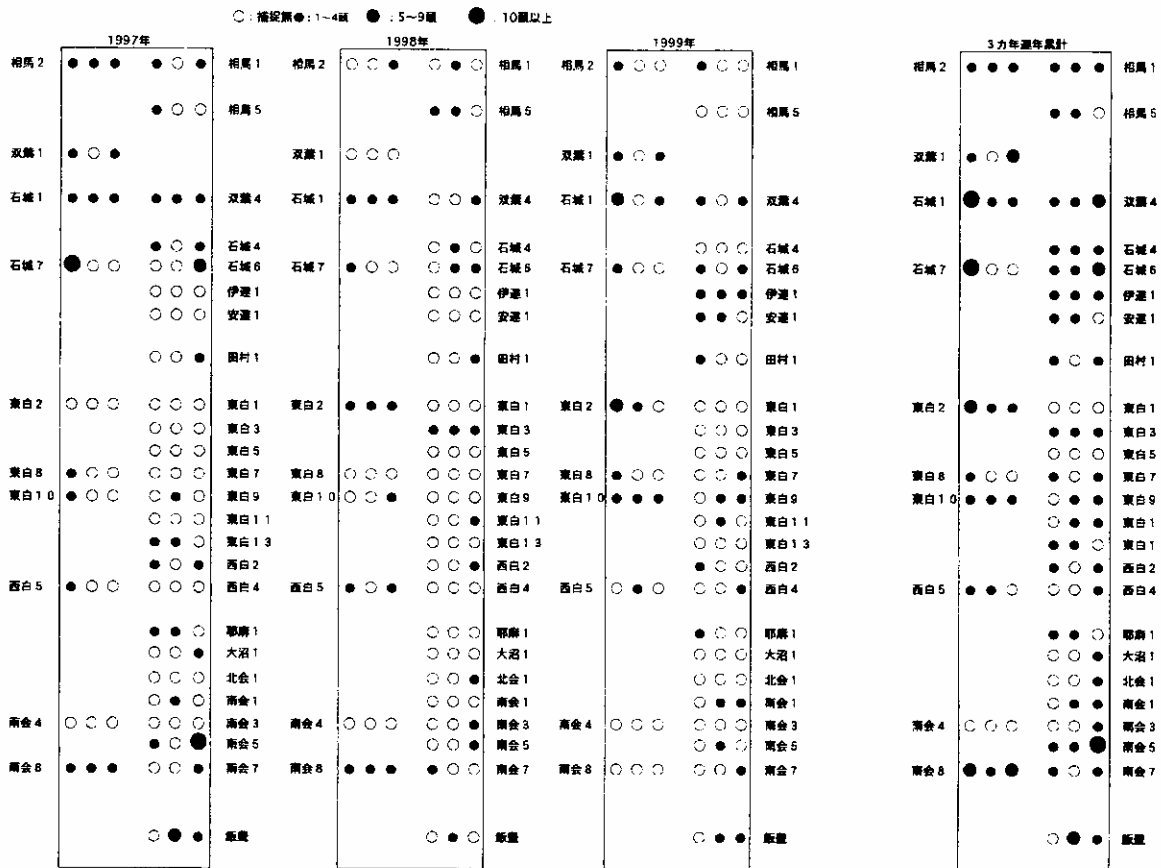


図-9 精英樹クローン集植場で捕捉されたスギカミキリ成虫の精英樹別頻度分布図

用できる立木の内樹皮部が枯渇したために、やむを得ず、まだ未利用部の残る精英樹に集中した可能性もあり、集中性がそのまま特定の精英樹に対する好選性を示しているものではないが、林分への定着初期に被害の単木集中性が見られる場合と同様に、被害がある程度連年にわたっても成虫のスギへの定着には集中性があることを示している。

IV 総合考察

(1) 内樹皮厚の変異からみた抵抗性種苗の適用区域決定の重要性

林木の病害あるいは虫害は、宿主と寄生者のみの関係で決まるものではなく、それぞれの立地環境の諸条件により、被害の発現様相が変化するので、抵抗性育種においてはこの意味で疫学的調査に基づく地域区分が重要であること、さらに抵抗性機構は形態的要因によるものがより安定していることが指摘されている¹²⁾。精英樹クローンからなる次代検定林における内樹皮厚の変異についての検討の結果、「関福7号」においてみられたように、植栽時の立地環境によってはクローンとブロック間に交互作用が生じ、内樹皮厚の林地における再現性が低下することを示している一方で、環境変動の激しいと推定される林地においても、クローン毎の標準木を用いて、交互作用に留意すればクローン間の内樹皮厚における相違を検出することがある程度可能であることが示された。また、林地においては内樹皮厚は同一クローン内においても隣接個体間競争によって大きな変異が存在することが明らかになった。傷害樹脂道はスギ二次師部組織の離生によって形成され、樹脂の生成機能を持つエピセリウム細胞の役割を、内接する師部柔細胞が果たすとされ¹³⁾、木部に樹脂道を持たないスギの垂直樹脂道は物理的・化学的・生物的の傷害に対する樹体側の生理的・形態的対応の結果として形成された師部傷害樹脂道であることが知られている¹⁴⁾が、林地においては形態的形質である内樹皮厚においても大きな変異があることから、候補木選抜時に指標とした機能的形質である樹脂滲出能力の変異は、これ以上の大きな変異が林地に存在していることは容易に推定される。

クローン苗で供給される抵抗性種苗の適用範囲の検討には、内樹皮厚を形態的指標とし、系統管理されたクローン苗によって造成された次代検定林等において、環境傾度に応じた内樹皮厚の変異のデータを蓄積することによって、抵抗性種苗が遺伝的に持つ抵抗性を十分に発揮しうる造林地の選定が可能であるものと考えられる。今後は、現地適応試験による抵抗性種苗の適応区域の決定が重要となる。

(2) 被害低減へ向けた総合対策の必要性

ごく粗い推定であるが、捕獲全数の50%を雌として雌1頭当たりの産卵数を100粒⁸⁾、それらのうち、羽化までの幼虫生存率を多く見積もって3%とすると、次年には約100頭の成虫が精英樹集植場において新たに発生することになる。樹脂滲出能力に優れた抵抗性種苗を用いる利点は、上記の羽化までの幼虫生存率を著しく低下させ得ることにある。

また、抵抗性発現には、遺伝的に決定された抵抗性と環境要因による抵抗性の2つの側面がある。内樹皮での傷害樹脂道形成能力とそれによる樹脂滲出能力は枝打ちの有無や春期降水量の多寡などの

環境要因により大きく左右され、それによる被害の強度が大きく変化することが報告されている¹⁵⁾。

幼虫の生存原因を考えてみると、部分的に樹脂の滲出が少ないか、あるいは全く滲出がないなどの、幼虫の生存にとって有利に作用するスギ樹幹内の特異的環境の存在が考えられ、具体的には枝岐出部の内樹皮の肥厚部もあげられる。枝基部は、樹幹部と比較して、形態的にそれらに関連する組織が褶曲を受け、その結果、抵抗力発現機能としての樹脂滲出能力が攪乱され、傷害を受けてから傷害樹脂道形成に至る期間や、その滲出能力が樹幹部に比較し低下していることが推定される。剥皮による食害面積の調査においても枝基部の樹皮肥厚部が広範囲にわたって食害を受けている事例を多数観察しており、枝基部は内樹皮厚が厚く、幼虫の摂食可能な資源も比較的多いものと思われる。

この部位は抵抗性育種においては、樹幹部も含めた候補木全体に対するスギカミキリの好選性に関する網室放虫検定の実施で考慮されているようにも思われるが、具体的な選抜形質に含まれてはいない。強度の枝葉除去処理をおこなわない限り樹脂滲出による幼虫の死亡数は有意に変化しないことから、施業における枝打ちは、あらかじめ傷害樹脂道を人為的に枝基部に発生させ、樹脂滲出による抵抗力を付加する作用となりうるものと考えられる。また、林分内の成虫の密度を低下させることは、被害の発生源対策として重要である。今回調査した試験場内精英樹集植場は、特異的にスギカミキリの密度が高い採穂園が隣接して造成されており被害の集中性がみられる激害林分であるが、寒冷紗バンドによる成虫捕獲数の経年変化に明確な減少傾向はみられなかったものの、調査期間中に連年累計207頭の成虫を捕獲できた。バンドトラップ等を用いて次代の繁殖に関わる成虫密度を低下させることも被害を抑える上で重要である¹⁶⁾。

抵抗性種苗の抵抗性は、内樹皮厚の構造的な確保と、それによる機能的な樹脂滲出能力の発現によるものが大きい。被害対策として有効な除間伐では、被害木の除去を前提とする¹⁶⁾のに加えて、さらに隣接個体間競争により林分内に生じた特異な内樹皮厚を持つ個体の積極的な除去が予防的側面として重要である。

抵抗性育種の成果によって、スギカミキリ被害を低減するには、現在のスギ林を抵抗性スギの種苗に植え替える必要があり、育種的対応による効果は、再造林時に使用される種苗に反映されるべき近い将来への先行対策である。

V 引 用 文 献

- 1) 岡田 滋：林木の抵抗性検定法 - スギカミキリ -, 林木の育種, 158, 43-47(1991)
- 2) 小野武彦ほか：福島県林業試験場研究報告, 第28号, 85-102(1996)
- 3) 植木忠二・加藤一隆・片寄 謙：林木育種センター関西育種場年報, 34号, 28(1999)
- 4) 小林富士男(編)：スギ、ヒノキの穿孔性害虫-その生態と防除序説, 創文1982, pp.166
- 5) 河村嘉一郎ほか：スギカミキリに対するスギの抵抗性検定方法(1)傷害樹脂道の形成パターンによる判別法, 日林誌66, 439-445(1984)
- 6) 植木忠二・網田良夫・植月充孝・小林玲爾：虫害抵抗性育種に関する研究 1.簡易検定によるスギ精英樹クローン等の傷害樹脂道形成能(5), 山陰支場, 64-71(1991)

- 7) 壽田智久ほか：スギカミキリに対するスギの抵抗性育種に関する研究(Ⅳ)人為的傷害による傷害樹脂道の形成状況と樹脂の滲出量，日林論98，239-240(1996)
- 8) 林野庁：スギカミキリ抵抗性育種に関する調査報告書(1985)
- 9) 西村慶二・田島正啓・戸田忠雄・藤沢義武：スギ精英樹クローンの内樹皮厚の変異，日林九支論集 NO.45，37-38(1992)
- 10) 西村正史：スギ林におけるスギカミキリによる被害発生機構の解明に関する研究，富山県林業技術センター研究報告9，1-77(1995)
- 11) 西村正史：スギカミキリの卵および若齢幼虫の樹内分布に関する若干の知見，富山県林業技術センター研究報告1，7-10(1988)
- 12) 大庭喜八郎：林木の抵抗性育種に関する理論と実際、林木の育種，119，18-22(1981)
- 13) 南光浩毅・河村嘉一郎・原田 浩：スギ二次師部の軸方向樹脂道の構造，木材学会誌 vol.30，No. 1，1-8(1984)
- 14) 山中勝次：針葉樹二次師部の樹脂道，木材学会誌 vol.30，No. 5，347-353(1984)
- 15) 野淵 輝・楨原 寛・藤田和幸：スギカミキリの樹体内での発育と死亡率(Ⅱ) - 幼虫期における降水量の影響 -，98回日林論，471-472(1987)
- 16) 林野庁：スギ・ヒノキ材質劣化害虫防除に関する総合研究，大型プロ研究成果8(1996)