

# 林木育種技術

# No.27

# ニュース

# 2006.8



独立行政法人林木育種センター

## 新しい中期計画による林木育種事業が始まりました

独立行政法人林木育種センター 育種部長 宮田 増 男

林木育種センターは、平成13年4月に林野庁の機関から独立行政法人に移行し、5カ年が経過しました。平成18年度からは、農林水産大臣が示した次の中期目標を達成するために当センター理事長が作成した第二期の中期計画（平成18年度からの5ヶ年間の計画）に基づいた林木育種事業及びそれらに関する調査・研究が始まりました。

近年、森林・林業においては、森林の多面的機能の持続的な発揮、とりわけ花粉症対策、地球温暖化防止対策、国土や自然環境の保全機能の向上、林産物供給機能の向上と林業の再生などが重要な課題となっています。また、生物多様性国家戦略において定められている種・生態系の保全、種の絶滅の防止と回復等の目標を踏まえた希少・貴重な林木遺伝資源の確保、保全の推進、さらには、熱帯地域等の海外における森林の整備のより効率的な推進を図り、持続可能な森林経営の実現に資するための林木育種の海外技術協力が重要な課題です。このような状況を踏まえ、かつ、これまでの成果も十分に活用しつつ、林木育種センターでは、平成18年度からは、都道府県や森林管理局などと緊密な連携を図りつつ、また、従来以上に業務の重点化、効率化を図り、林木の品種の開発に関しては、次のような事業及び調査・研究に取り組んでいます。

事業については、①花粉症対策に有効な品種の開発として、花粉の少ないスギ品種の東北と関西の両育種基本区での追加開発、花粉の少ないヒノキ品種の開発、雄性不稔スギ（無花粉スギ）と成長や材質等の優れたスギ精英樹等との人工交配等を進めています。②地球温暖化防止に資する品種の開発として、二酸化炭素の吸収・固定能力の高いスギやトマツの新品種の開発を進めています。③国土保全、水源かん養及び自然環境保全の機能の向上に資する品種の開発として、クロマツとアカマツの松食い虫やスギのスギカミキリに対する抵抗性品種のさらなる開発、雪害による幹の根元曲がり抵抗性を有するスギ品種のさらなる開発、複層林施業に適するスギやヒノキ品種の開発、ケヤキ、ウダイカンバ、タブノキ等有用広葉樹の育種を進めています。④林産物供給機能の向上に資する品種の開発として、次代検定林の調査の推進、材質や成長の優れたスギ等の品種の開発、成長や材質等が一層優れた第二世代品種の候補木の選抜、育林コストの削減に有効な初期成長の特性等を備えているスギやヒノキの精英樹の選定などを進めています。

また、都道府県等の採種園や採穂園の改良等に資するため、精英樹特性表の充実も図ることとしています。一方、新品種等のより一層の普及に資するため、新品種等の展示林を都道府県等と連携して整備する仕組みを検討し、モデル的な展示林の整備を行うこととしています。

調査・研究については、上記の事業に係る技術の開発や育種年限の短縮に必要な技術開発、遺伝子組換えによる育種技術の開発などを進めています。

## 雄性不稔スギ「爽春」の組織培養による増殖

近年、スギ花粉症患者は年々増加の一途をたどり、最近では国民の10%以上がスギ花粉症にかかっているとされるまでになりました。このため、スギ花粉を減らすための育種が求められています。

林木育種センターでは、花粉症対策と森林資源としてのスギの有効活用を両立できるように、花粉の少ないスギ品種の開発や、さらにその花粉の少ないスギの中から花粉症の原因となるアレルゲンの少ないスギ品種の開発などを行ってきました。

また、花粉を全く飛散させない雄性不稔スギ（無花粉スギ）が富山県で初めて発見されその後、林木育種センターでも、平成16年度に雄性不稔スギ「爽春」を開発しました。

林木育種センターでは、この爽春を早期に大量にクローン増殖し、苗木を生産していく方法を研究しています。スギのクローン増殖は通常さし木やつぎ木で行われますが、爽春は現存個体が少ないため、さし木やつぎ木で大量増殖させるのに十分な数の穂を確保するのは難しいのが現状です。そのため、当センターでは、さし木やつぎ木増殖のための採穂台木の確保も含め、早期の大量増殖を目的に、組織培養による爽春の増殖に取り組んでいます。さし木やつぎ木では比較的大きい穂を用いることが多いのですが、組織培養では数cm程度の小さなシュート

から増殖することができます。

爽春の組織培養は以下のように行います。

[爽春の組織培養法]

まず、温室などで生育させた苗木から当年枝部分を切り取って過酸化水素などの殺菌剤で滅菌します。その後、頂芽を除き、窒素やリン、ショ糖、植物ホルモンなどを加えた試験管内の寒天培地に挿し付けます。培養物は温度・照度を一定にした培養室内で生育させます。植え付け数ヶ月後にはシュートの切り口付近に新しい腋芽が形成されます。その後数ヶ月ごとに新しい培地に植え替え、腋芽を伸ばし、またその伸びた部分を切り取って増殖させる、ということを行います。伸びたシュートは発根に有効な植物ホルモン（オーキシシン）などを添加した発根培地に移し、発根後は徐々に自然の温度・光条件に慣らして苗木へと育成していきます。

平成17年度は、シュートから腋芽を発生させる際の培地の基本条件（培地支持体、基本培地、植物ホルモン濃度）を、腋芽の発生率などから検討しました。その結果、爽春のシュート増殖に適した培地を検索することができました。平成18年度からは、シュートの発根・順化法の改良について検討を進めています。



写真-1 試験管内で生育中の爽春



写真-2 順化中の爽春の苗木

(センター本所 育種第一課 坪村美代子)

# 雄性不稔スギと成長、材質優良木との交配事業

スギ花粉症は我が国の大きな社会問題となっています。平成17年に林木育種センターでは、花粉を飛散しない雄性不稔スギ「爽春」を開発しました(写真-1)。雄性不稔スギは花粉を正常に生産することがなく、花粉を飛散しません。



写真-1 爽春の雄花序(雄花を着けるが花粉は生産しない。)

## [雄性不稔の遺伝]

雄性不稔は一对の劣性遺伝子により支配されると考えられています。雄性不稔を生じさせる劣性な遺伝子( $r$ とします)をホモ( $rr$ )で保有する個体は雄性不稔となりますが、正常な遺伝子( $R$ )をヘテロ( $Rr$ )で保有すると正常に花粉を生産します(図-1)。

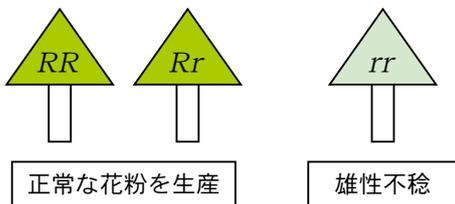


図-1 雄性不稔に関する遺伝子の組み合わせ

雄性不稔スギ( $rr$ )と雄性不稔遺伝子を持たない個体( $RR$ )を交配して雑種第一代( $F_1$ )を作れば、その遺伝子型はヘテロ( $Rr$ )となります。さらに $F_1$ を相互に交配すると、雑種第二代( $F_2$ )は $RR$ ,

$Rr$ または $rr$ のいずれかの遺伝子型を持ち、その個体数の比は1:2:1になります(図-2)。

## [成長や材質の優れた雄性不稔スギ品種の開発]

林木育種センターでは成長や材質に優れた雄性不稔品種を開発するために、これまでに開発した雄性不稔スギの「爽春」と、成長や材質などの優れたスギ精英樹との人工交配を、図-2の方法で行っています。 $F_2$ として得られる実生苗は親の優れた性質を持ち、さらに4分の1の確率で雄性不稔であることが期待できます。 $F_2$ を作りその中から雄性不稔個体を探すには、育成にかなりの年月が必要です。できるだけ早く品種を開発するため、秋播きや育成器の中で育苗するなどして早期の育成を目指します。

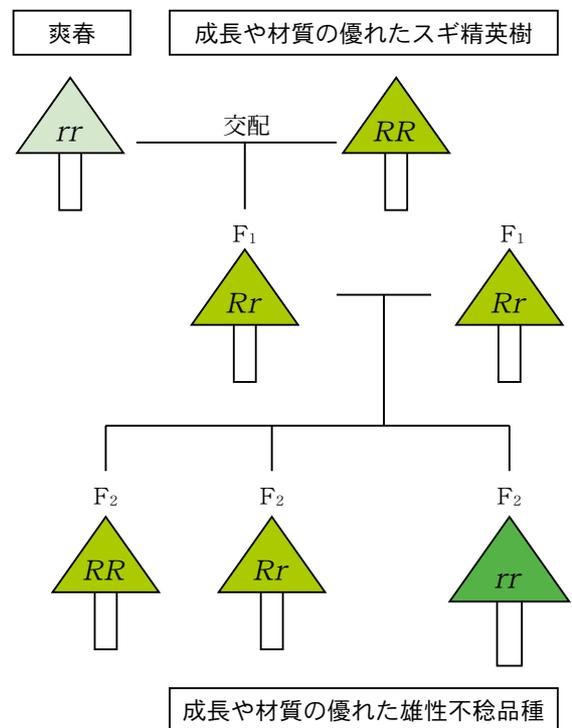


図-2 成長や材質の優れた雄性不稔スギ品種開発のための交配の方法

(センター本所 育種第二課 宗原慶恵)

## アレルギーの少ないスギ品種の開発

今や国民病とも言われるスギ花粉症。1964年にスギ花粉が花粉症の原因となることが明らかにされて以来、その患者数は増加の一途をたどっており、スギを利用する立場にある林業にとっても最も深刻な問題のひとつとなっています。そのため、林木育種センターでは林野庁や都府県と連携し、スギ花粉症対策に取り組んできました。スギ花粉症の原因を元から絶つことが最も重要かつ効果的な花粉症対策であることから、これまでに、雄花をつける量が極めて少ない112品種を「花粉の少ないスギ」品種として開発し、利用を進めています。

また、医学における研究により、スギ花粉症の主な原因（アレルギー）はスギ花粉中に含まれる2種類のタンパク質であることが明らかになりました。これらはスギの学名、*Cryptomeria japonica* に因んでCry j 1, Cry j 2と命名されています。スギ花粉症を軽減するためには、空中に飛散する花粉の量を減少させるだけではなく、正確にはアレルギーの量を減少させることが重要であると言えます。こ

れまでの研究で、花粉中に含まれているCry j 1およびCry j 2の量が多い品種と少ない品種では約10倍と大きく異なり、雄花をつける量と同様に遺伝的な性質であることが分かってきました。このことから、雄花の量に加えて花粉中に含まれるアレルギーの量にも着目することによって、より効果的な花粉症対策品種を選び出せると考えました。そこで、まず関東育種基本区において「花粉の少ないスギ」品種57品種を含む146クローンの精英樹を対象として平成13年度から平成17年度までCry j 1およびCry j 2の含有量の調査を行いました。その結果、Cry j 1含有量とCry j 2含有量を合計した総アレルギー含有量（花粉1gあたり）は、「花粉の少ないスギ品種」57品種の間で162 $\mu$ gから1,434 $\mu$ gまでの大きな違いがあり、アレルギー含有量を考慮することによって、特に花粉症対策効果の高い品種を選び出せることがわかりました。そこで、花粉の少ないスギの中で4年間を通してアレルギー含有量が極めて少なかった1クローン（図-1）を「アレルギーの少ないスギ」品種として公表しました。

この成果に基づき、平成18年度からは、東北、関西及び九州の各育種基本区においても精英樹のアレルギー含有量の評価を進めることになりました。調査対象となるのは、「花粉の少ないスギ」品種や「花粉の少ないスギ」品種に準じて雄花着生量が少ない精英樹、さらには成長や材質の優れた精英樹の推奨品種などです。調査結果は精英樹特性表等によって順次公表し、品種を選択利用したり、研究材料を選択する際等に利用していただけるようにするに なっています。

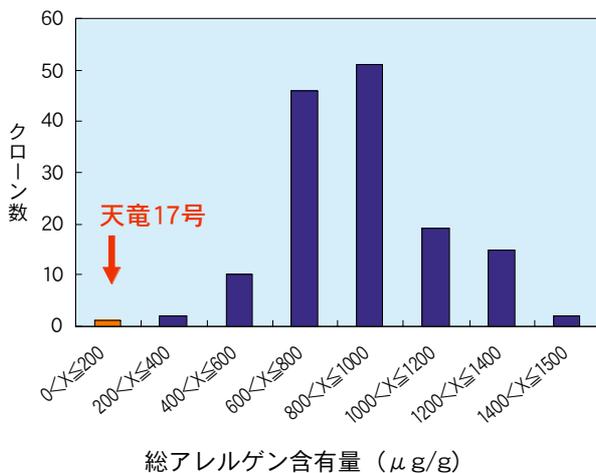


図-1 総アレルギー含有量のクローン間変異 (4年間の平均値)

(北海道育種場 育種課 福田陽子)

# 二酸化炭素固定量の向上を目指した林木育種

## 1. はじめに

近年、地球温暖化問題がますます顕在化しています。その原因とされるのは温室効果ガスの増加ですが、中でも二酸化炭素の増加は60%もの寄与率を持っていとされています<sup>(1)</sup>。そのため、二酸化炭素を吸収・固定する森林の能力への期待が高まっています。林木育種の分野よりこの問題に対応するため、現在、林木育種センターでは二酸化炭素吸収・固定能力の優れた品種開発に取り組んでいます。開発された品種を用いることにより、森林・林業による二酸化炭素吸収・固定量を増加させ、大気中の二酸化炭素濃度の増加を抑制することが可能になり、さらには森林・林業の付加価値を高めることができると期待されます。

本稿で、これまでの研究の結果とこれからの事業の概要について紹介します。

## 2. これまでの研究の結果

平成11年度よりはじまった5ヶ年の「CO<sub>2</sub>固定促進育種事業化プロジェクト」<sup>(2)</sup>および、平成13年度からの当センターの中期計画の「地球温暖化防止に資する品種の開発に必要な林木育種技術の開発」において、スギクローンを対象に品種開発に向けた二酸化炭素吸収・固定能力の評価・検定手法の開発を行ってきました。樹木の二酸化炭素吸収・固定能力は、木材として使用する部分である樹幹の木部に固定された炭素量（炭素固定量）として定義しています。この研究においては、炭素固定量に関わる形質に①どれだけの変動幅があるのか、②それがどれくらい遺伝するのか、③それが炭素固定量にどれくらいの影響を及ぼすか、④実際に選抜を行った場合に炭素固定量としてどれくらいの遺伝的な改良効果が得られるのか、について検討を加えました。

炭素固定量に関わる形質については、樹幹部の材積（以下、材積）、樹幹の木部の容積密度（以下、容積密度）、木材単位重量あたりの炭素含有率（以下、炭素含有率）の3つの形質があります。炭素固定量はこの3形質の積で求めることができます。この中で、材積と容積密度については選抜を行うのに十分な変異幅と遺伝性を持ち、炭素固定量への関与も大きいことが明らかになりました。一方、炭素含有率は、遺伝性は高いものの変動幅が非常に小さく、炭

素固定量への影響は少ないという結果が得られました。この結果より、炭素固定量の高いクローンの選抜は、材積と容積密度の2形質によって行うのが有効であるといえます。選抜によってどれだけの遺伝的な改良効果が得られるのかをスギ47クローンを使って検討した結果、上位37%の選抜によって20%程度の炭素固定量の向上が可能であることが示されました<sup>(3)</sup>。

## 3. これからの事業・研究の概要

これまでの研究の結果にもとづき、今期中期計画において、スギおよびトドマツの二酸化炭素吸収・固定能力の優れた品種の開発を行います。具体的には、材積、容積密度の2形質を対象に、検定林や育種素材保存園などでそれらの測定を進めていきます。そして、得られたデータを総合し、炭素固定量の高いスギ及びトドマツの品種を選抜します。

また、カラマツとヒノキについても、炭素固定量による選抜が可能かどうか、可能であればどのような選抜手法が適当なのかを検討し、品種の開発に向けての準備を行います。

## 4. おわりに

森林・林業は、木材生産の機能だけではなく、環境保全の機能を合わせ持ちます。今回紹介した取り組みの成果によって森林・林業がもつ多面的機能の一つである二酸化炭素吸収・固定機能が高まり、森林・林業の価値が高まることを期待し、事業・研究を進めていきます。



写真：検定林内での容積密度簡易測定の様子

参考文献：

- (1) IPCC 第3次評価報告書第1作業部会資料(2001)
- (2) 林木育種技術ニュース No.9, (1999)
- (3) 田村ら, 日林誌 88(1), 15～20(2006)

(センター本所 育種第一課 武津英太郎)

# ファコップ法及び横打撃共振法による材質調査 —材質の優れたスギ品種の開発に向けた取り組み—

## 1. ファコップ法による立木の材質調査

わが国の最も重要な造林樹種の一つであるスギは柱や梁など、主に住宅用の構造材料に使用されており、このような製材では強度性能の高いものが評価されます。そのため林木育種センターでは、スギ精英樹をはじめとする主要な針葉樹について、丸太のヤング率について調査してきました。この場合、樹木を伐採して得た1.8m程度の丸太について、片側の木口面をハンマーで打撃を与えて丸太に縦振動を励起させます。反対側の木口面で受信した打撃音をFFTアナライザで周波数分析し、固有振動数からヤング率を算出します。ところで、測定対象となる樹木を伐採するにあたり時間と労力がかかることから、調査数は限られたものになります。

そこで、測定対象となる樹木を伐採することなく、丸太のヤング率を推定する方法として、立木に直接センサーを取り付けることができるファコップ（ハンガリー国アルナス社製）を用いた測定（ファコップ法）について紹介します。立木に1m間隔でファコップのセンサーを取り付け、一方のセンサーをハンマーで叩いて発生させた応力波が、もう一方のセンサーまで通過した時間を測定します（写真1）。

もともと、ファコップは木材内部の腐朽について調査する器械として使用されていますが、応力波の速度と、丸太のヤング率との相関が高いことから、簡便な材質調査法として注目されています（藤澤ら、2003）。

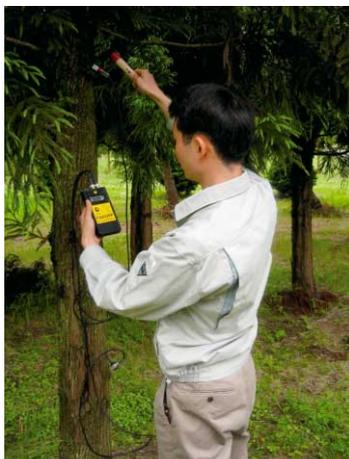


写真1 ファコップ法による測定

## 2. 横打撃共振法による立木の含水率の推定

スギに限らず、市場に流通している製材は、人工乾燥されたものが主流となっています。そのため、人工乾燥にかかる費用を抑える観点から、水分を含む割合（含水率）の低いスギ品種が求められています。ところで、スギ立木の含水率測定についても丸太のヤング率の測定と同様に、対象となる樹木を伐採する必要があり、やはり時間と労力を要します。

釜口ら（2000）は、FFTアナライザを用いて立木の含水率を推定する方法について報告しています。写真2のように樹幹にセンサーを当て、ハンマーで打撃します。このとき発生する樹幹の振動の共振周波数をFFTアナライザで測定します（横打撃共振法）。



写真2 横打撃共振法による測定

測定部の直径をD、横打撃共振周波数をFrとすると、横打撃共振周波数と直径の積の2乗の逆数（ $1/(D \cdot Fr)^2$ ）とスギ心材含水率は比例関係があり、この測定方法によりスギ立木の心材含水率が推定できます。

以上紹介したファコップ法、横打撃共振法では、ともに測定対象となる樹木を伐採することなく、数分のうちにデータを得ることができます。これまで難しかった、検定林における大規模な材質調査が可能になりました。そこで本年度から、ファコップ法及び横打撃共振法によるスギの材質調査を検定林で行い、材質の優れた品種の開発に取り組みます。

### 参考文献

藤澤義武, 柏木学, 井上祐二郎, 九州森林研究56,180-181 (2003)  
釜口明子, 中尾哲也, 小玉泰義, 木材学会誌46,13-19 (2000)

(センター本所 育種第一課 東原貴志)

# 広葉樹の育種 — ケヤキ —

## 1. はじめに

近年多様化している森林へのニーズに応えるため、成長や樹幹の形質などに優れた優良広葉樹の開発をめざして、林木育種センターでは平成9年度から広葉樹優良形質木育種プロジェクトを開始し、用材生産用のケヤキ、ブナ、ウダイカンバ等の有用な広葉樹の優良形質候補木（以下、候補木）の選抜・増殖を推進してきました。関東育種基本区では、ケヤキを対象樹種とし、これまで候補木の選抜、増殖、保存を進めてきました。ここでは、関東育種基本区でのこれまでの広葉樹優良形質木育種プロジェクトの実施状況について紹介します。

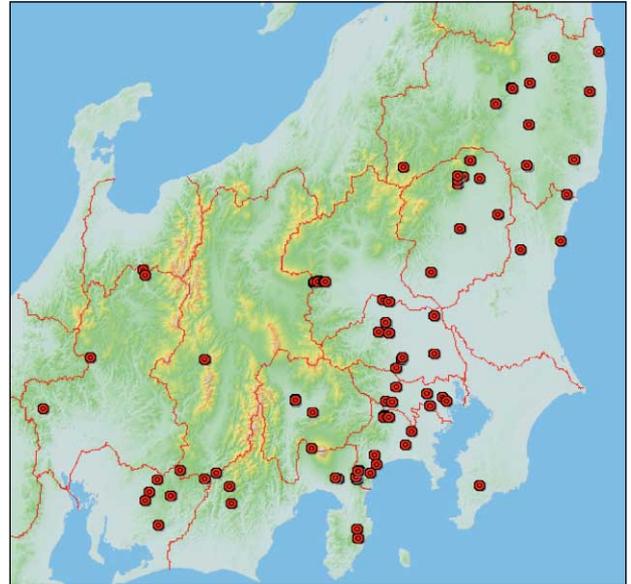


図-1 ケヤキ優良形質候補木の選抜地

## 2. 優良形質候補木の選抜とクローン増殖

候補木の選抜で、関東育種基本区内の各都県から概ね10個体以上を選抜することとし、平成17年度末までに関東育種基本区内の13都県から188個体のケヤキが候補木として選抜されました（図-1、表-1）。選抜された候補木は、順次つぎ木増殖によりクローン増殖、保存がなされています（写真-1）。

## 3. モデル採種林の造成と候補木の開花

これまでに選抜された候補木を用いたモデル採種林の造成に平成15年度より着手しました。

最も早く造成された育種素材保存園（平成10年造成、写真-1）では、設定後4年経過した平成14



写真-1 ケヤキ優良形質候補木の育種素材保存園つぎ木によりクローン増殖されたケヤキ優良形質候補木クローン。平成10年に20クローンで造成。（平成16年9月撮影）

表-1 ケヤキ優良形質候補木の都県別の選抜本数  
(平成17年3月末現在)

都県名	選抜本数	都県名	選抜本数
福島	16	神奈川	18
茨城	11	山梨	12
栃木	10	長野	9
群馬	28	岐阜	13
千葉	10	静岡	30
埼玉	10	愛知	11
東京	10	合計	188

年春に1クローン2個体で開花がみられ、その後、平成15年春には6クローン15個体、平成17年春には8クローン25個体で開花し、開花クローン数、開花個体数とも順次増加する傾向にあります。このため、今後モデル採種林においても、設定後5年程度経過した後から順次開花が始まると期待されます。

(センター本所 保存評価課 高橋 誠)

# スポット 系統評価のための統計的手法 (1)

林木育種センターでは、次代検定林の調査データを解析して精英樹等を系統ごとに評価し、その結果を「精英樹特性表」の作成や「推奨品種」等の開発に活用しています。ここでは、系統評価に関係する統計的手法を紹介します。

林木の重要な形質である樹高、胸高直径および材の密度等は量的形質とされています。量的形質は、多くの遺伝子座に支配されているので、個々の遺伝子座は表現型に対して比較的小さな効果しか与えません。そのため、量的形質は連続的に変異しており、個体を明瞭に区別できるようなグループに分けることはできません。これまでの調査から、樹高、胸高直径等の測定値の頻度分布は、正規分布と見なせることがわかっています。

このような連続変異する集団を表すには、平均 ( $\mu$ ) と分散 ( $\sigma^2$ ) または分散の平方根である標準偏差 ( $\sigma$ ) を用います。分散や標準偏差は、集団内の個体のばらつきを示します。それぞれ次の式で求めることができます。X<sub>i</sub>は 個々の測定値、nは測定値の数を表します。

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} \quad (1)$$

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \mu)^2}{n-1} \quad (2)$$

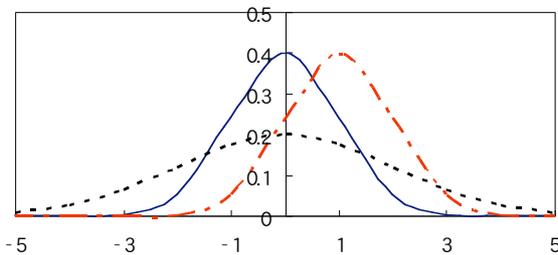


図 正規分布曲線

(実線は平均0, 標準偏差1, 破線は平均0, 標準偏差2, 一点鎖線は平均1, 標準偏差1の集団の正規分布曲線を表す。)

平均、標準偏差が異なる集団の正規分布曲線を図に示します。集団の平均、標準偏差を示すことによって、集団を区別できることがわかります。

正規分布に近似できる調査データは、分散分析によって解析します。これは、試験のすべての分散を要因ごとに分割する統計的手法です。要因の間に有意な差があるかどうかを検査することができます。次代検定林の調査データの場合は、測定したデータの全分散を分散分析によって遺伝的な成分と環境による成分に分離します。分散分析表の例を示します。

表 検定林のプロット平均値を用いた分散分析

変動因	自由度	平方和	平均平方	平均平方の期待成分
系統間	f-1	S.S.(f)	M.S.(f)	$\sigma_e^2 + r \cdot \sigma_f^2$
反復間	r-1	S.S.(r)	M.S.(r)	$\sigma_e^2 + f \cdot \sigma_r^2$
誤差	(f-1)(r-1)	S.S.(e)	M.S.(e)	$\sigma_e^2$

注) fは供試系統数, rは反復数を表す。

系統平均値の差が有意であるかどうかは、系統間の分散比の大きさ (F値=系統間の平均平方/誤差の平均平方) によって判断できます。F値が該当する自由度のF分布の5%水準の値を上回る値であると、系統平均値には遺伝的な違いが反映されているとみなされます。その結果、得られた系統平均値によって各系統を評価することができます。また、Duncan法やTurkey法等の多重比較によって、すべての組合せの二つの系統の差を検定し、どの系統とどの系統との間に有意な差があるかを示すこともできます。

実際の次代検定林では、検定林ごとの供試系統や各系統の供試回数が不揃いとなることがあります。そのような場合は、系統平均値をそのまま系統評価に使用することはできないため、最小二乗法により各系統の推定値を求めます。次回は、最小二乗推定値について紹介します。

(センター本所 保存評価課 久保田正裕)