

林木育種技術 ニュース

No. **31**

2007.11



独立行政法人森林総合研究所 林木育種センター

優れた性能を持つ次世代の精英樹への期待

独立行政法人森林総合研究所 林木育種センター育種第一課長 藤 澤 義 武

林木育種センターでは、林業・木材産業の振興に寄与する成長や材質に優れた品種、マツノザイセンチュウへの抵抗性が高く海岸林や景観の再生・保全に寄与するアカマツ、クロマツ品種等に加え、近年はスギ花粉症対策に有効なスギ、ヒノキ品種、地球温暖化防止に寄与する炭素固定能力の高い品種等の開発を行っており、環境保全からアメニティー利用に至るまで多様化する社会ニーズへの対応に努めてきました。これをさらに効果的にするため、平成13年からは5ヶ年ごとに作成する中期計画に従って事業・研究を進めることになっており、平成18年度から始まった新しい計画の重点課題として、花粉症対策に有効な品種や地球温暖化防止に資する品種等の開発とともに林産物供給機能の向上に資する品種の開発をあげています。これは成長や材質が飛躍的に優れた「第二世代精英樹」の開発を進めることで、50年間に及ぶ我が国の育種事業の成果を総合して次のステップに飛躍しようとするものです。

我が国の育種事業は50年前に「精英樹」を選抜することから始まりました。林で一番成長が良く、幹も通直で枝も細い等の目立って優れた木、いわゆる「やまいち」を全国津々浦々のスギ、ヒノキ、マツ、カラマツ林等から精英樹として選抜したのです。これは、国、都道府県及び民間が一体となって進めた一大国家事業であり、林木育種場と当時呼ばれていた林木育種センターの企画・指導のもとに全国で9,000本に及ぶ精英樹を選び、クローンを養成しました。これらは検定林を造成して選抜時の性能が本物かどうかを確かめ、さらには時代のニーズに対応して木材の性質や花粉の多少その他の性質を調査しました。前述した色々な品種の大半はこのような精英樹を対象とした調査・研究の結果をもとに開発されたものであり、精英樹は品種開発の基本素材とも言えるでしょう。この精英樹のいわばバージョンアップ版が第二世代精英樹なのです。

では、バージョンアップはどのように行われるのでしょうか？これまでに精英樹の中での成長、材質や形の善し悪し等がわかってきたので、精英樹の中でも成長の良いもの、材質の良いもの等を選び、それらの間で子供群（以下「後代」という。）を育成してきました。これら後代の中には親の特徴を兼ね備え、成長、材質が飛躍的に優れているものがあります。それらを選び出したものが第二世代の精英樹なのです。これらは木材生産性等を向上させるだけではなく、多様なニーズに応えるための育種素材としても大きな効果が期待できます。

現中期計画では、比較的林齢の高い後代を試験材料として第二世代精英樹を効率的、効果的に選抜するための技術開発を行うとともに、実際に選抜した候補木によって検定技術の開発を進め、事業の本格化に備えます。スギ、ヒノキを対象としたこれまでの技術開発では、第二世代精英樹が成長、材質、樹形ともに飛躍的に優れていることを示す結果が得られています。50年の節目を迎えた林木育種事業はさらなる飛躍を目指して鋭意第二世代精英樹の開発を進めて行きます。

関東育種基本区における第二世代精英樹の選抜

1. はじめに

第二世代精英樹の本格的な選抜は、成長等の優れた第一世代精英樹を人工交配して苗木を養成し造成した育種集団林から行うこととしています。しかし、育種集団林は造成してから時間経過が浅く、これらからの選抜は時期尚早です。それゆえ成長や幹の通直性の優れた実生由来の遺伝試験林や一般次代検定林を対象に、篤林家による選抜や指数選抜法による第二世代精英樹候補木の選抜を実行しています。これまでに関東育種基本区では、スギ4箇所158本、ヒノキ2箇所で77本が選抜されています。今後も選抜、検定を進める予定です。

2. 実際の選抜の進め方

(1) 対象林分の探索

検定林設定台帳および調査台帳を基に、使用クローンや交配様式、選抜対象の形質の成長状況、系統間差などを調べ、選抜に適切な検定林を抽出します。スギの場合20年以上、ヒノキの場合は30年以上を目安としています。このとき選抜対象となる形質について系統間差が大きいことが望めます。

(2) データ解析による机上選抜

直近の調査年次まで生存していた個体について、個体単位で分散共分散分析を行い、それらより得られた分散共分散成分および遺伝率、遺伝相関を用いて、指数選抜により個体選抜を行います。このとき本選抜の2～3倍程度の個体数を選抜します。系統間差が大きい場合には、選抜される個体は特定の系統に偏る傾向があります。

(3) 現地調査

机上選抜をもとに、現地における選抜個体の確認を行います(写真-1)。現地で目視により病虫害やその他の欠点がないことを確認し、欠点がある個体は除外します。また、机上では選抜されなかったが、現地で表現型のすぐれた個体をリストアップします。残った個体について、スギに関してはヤング率の非破壊的測定を行います。

(4) 採穂、増殖

ヤング率の測定の後、特定家系に選抜個体が偏らないように、1系統から選抜個体は最大3個体までとし、その後の机上選抜の結果をなるべく重視して

選抜します。このとき一次選抜の結果がよくても、ヤング率が極端に劣る個体は選抜個体からはずします。これらについて現地で測棹に鎌を取り付けた採取用具(測棹鎌)などを用いて1個体につき20本程度の接ぎ穂が得られるように採穂を行います(写真-2)。

採穂した接ぎ穂は接木を行い、苗畑で養苗したのち定植します。



写真-1 (左) 現地での選抜木

写真-2 (右) 測棹鎌を用いた採穂

3. 選抜の結果

一般的に選抜集団では、選抜対象の形質が元の集団の平均よりすぐれた方向に移動します(図-1)。系統間差が大きい場合や選抜強度を強くした場合は、元の集団と選抜集団の差が大きくなり、遺伝獲得量が大きくなります。一方系統間差が小さい場合や選抜強度が弱い場合は、元の集団と選抜集団の差が小さくなり、遺伝獲得量も小さくなります。実際これまでの選抜の結果、樹高、胸高直径、幹曲がり、根元曲がりに関しては数%～十数%の遺伝獲得量が達成されています。

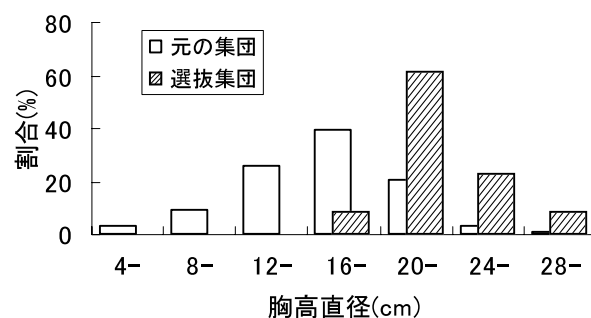


図-1 ある検定林における胸高直径の選抜結果

(林木育種センター 育種第二課 三浦真弘)

九州育種基本区における第二世代精英樹の選抜

九州育種場では、平成10年度から、九州森林管理局等の関係機関と連携して、スギ、ヒノキの第二世代精英樹候補木の選抜とそのクローンの収集・保存を行っています。平成18年度末までにスギ365本、ヒノキ201本を選抜・収集しています。

九州育種場における第二世代精英樹候補木の選抜は、概ね30年生以上の遺伝試験林（精英樹同士の人工交配家系が植栽された検定林）から、成長と材質がともに優れた個体を選抜することによって行っています。

成長及び幹と根元の曲がりについては、検定林調査の個体データをそのまま活用しています。また、材質については、伐倒等によらず、その後の検定木の成長の支障にならないような調査方法により調査を行っています。選抜を開始した当初は、成長錐により試験片を採取して材色や含水率等の調査を行っていましたが、平成12～13年度はぶら下がりヤング、平成14年度以降は、ヤング率の指標となるファコップでの樹幹内の音速を測定しています。

現在、検定林からの選抜は、次の二段階で行っています。まず、検定林調査データの樹高、胸高直径、幹曲がり、根元曲がりを総合的に評価できる指標である選抜指数を、これらの形質の表現形分散・共分散と遺伝分散・共分散から計算し、選抜指数が大きい順に200個体程度を机上で予備選抜します。

次に、検定林において実際に予備選抜木を目で見て確認するとともに、これらについて材質調査を行います。これにより、予備選抜の約200個体から、材質の優れた上位50個体程度を、第二世代精英樹候補木として選抜します。通常、検定林には、3,000～5,000本程度が植栽されていますので、選抜率はおよそ1～2%程度となります。

例えば、九熊本第43号検定林（都城支署管内）においては、29年生時で樹高が20m、胸高直径が30cmに達するうえ、幹・根元とも曲がり無く、ファコップによる音速が3 km/秒を超える（ヤン

グ率70E相当；藤澤ほか2003に基づく推定）といった、成長、材質ともに優れた個体を選抜しています。

選抜した第二世代精英樹候補木にはペンキや杭で現地標示を行ったうえで（写真）、冬期に採穂し春につぎ木を行って、当場内に保存しています。保存した個体の成長はたいへん優れており、つぎ木養苗1年を経て定植した1年数ヶ月後に、すでに人間の背丈を超えているものもあります。定植後数年を経て枝量・葉量が充実してきたものについては、順次ここから採穂を行ってさし木苗を養成し、これらを用いて検定林を造成しています。平成20年、21年にはスギ第二世代精英樹候補木を植栽した検定林の調査を予定しており、優れた成長成績等のデータが得られることを大いに期待しているところです。

これらにより、成長、材質に格段に優れた品種を開発し、20～25年程度の短伐期での経営が可能な品種の開発を目指していきたいと考えています。



写真 選抜した第二世代精英樹候補木
「スギ八代署1－18号」

引用文献

藤澤義武ほか：第53回木材学会大会講演要旨集，55（2003）

（九州育種場 育種課 星比呂志）

新しい育種研究の取り組み（２）

遺伝子組換え技術を用いた スギ有用品種の開発への取り組み

１．はじめに

スギの有用品種の開発において、これまでに形質や性質の優れたスギが精英樹として選抜され、またそれら精英樹相互間の交配による第二世代からの優良品種の開発も進められています。それら従来の手法と平行する形で、森林バイオ研究センターでは、遺伝子組換え技術を用いた有用品種の開発に着手しており、今回はその取り組みについて紹介します。

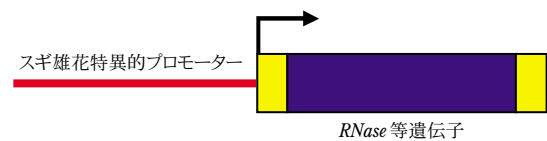
２．遺伝子組換え技術の特徴

遺伝子組換え技術を用いるメリットは、例えば精英樹どうしの人工交配によって得られた種子を材料に用いることで、目的の形質をもち、かつ成長やその他性質のよい木が短期間で作出可能であること。また、他の生物種由来の遺伝子を導入することも可能で、交配では実現できない有用形質をもつ品種の開発が可能であること等があげられます。ただ、遺伝子組換えスギを野外で育成する際には導入した外来遺伝子が花粉によって野生型のスギと交配し、意図しない場所に遺伝子組換えスギが広がってしまうことが懸念されています。そこでまず遺伝子組換え技術で有用形質を導入する前段として導入遺伝子が拡散していくことを抑えるために、スギの雄性不稔化を第一の目標として研究を行っています。

３．雄性不稔化の手法

遺伝子は設計図であり実際に機能するためには、その設計図がRNAに写し取られ、それをもとに機能物質であるタンパク質を作らなければなりません。また、遺伝子が時期特異的、組織特異的に発現するためには転写調節領域（プロモーターとする）が必要となります。これらの基礎的な知見から①雄花特

異的に発現している遺伝子を単離、②雄花特異的遺伝子のプロモーターを単離、③雄花特異的プロモーターに*RNase*（RNA分解酵素）やプロテアーゼ（タンパク質分解酵素）を連結して雄性不稔化遺伝子を構築（図－１）、④雄性不稔化遺伝子をスギに導入、という手順で実験を進めています。作出される組換え体においては、雄花特異的プロモーターの働きにより*RNase*やプロテアーゼが雄花でのみ発現し、雄花を形作る細胞で発現する全ての遺伝子産物が破壊され、雄花形成あるいは花粉生成が阻害され雄性不稔となることが期待されます。現在我々は、③の雄性不稔化遺伝子の構築を進めています。



図－１ 雄性不稔化遺伝子の模式図

雄花特異的に*RNase*等遺伝子を発現させることによって雄花・花粉形成を阻害する。

４．遺伝子組換え雄性不稔スギの効果

遺伝子組換えを用いたスギの雄性不稔化技術の確立は、導入遺伝子の拡散を抑制し、遺伝子組換えによる成長や材質の改良などさらに幅広い面での活用の道を開きます。また、雄性不稔スギはそれ自体がスギ花粉症問題を緩和するためにも効果的な品種となり得ます。将来性と実用性を兼ね備えた遺伝子組換え雄性不稔スギは、遺伝子組換え技術を利用した林木の育種を進めるにあたって、大きな一歩となると考えています。

（森林バイオ研究センター 栗田 学）

アカシア・アウリカリホルミス 採穂木の仕立て方

1. はじめに

採穂園の目的は、施業を集約的に行い、良質な穂を効率的かつ大量に生産することです。このことから、当然、採穂木もその目的に合うように仕立てる必要があります。

林木育種センターでは熱帯産早生樹種の育種技術の開発の一環として、アカシア属についての採穂園の管理技術の開発を進めています。

本稿では、西表熱帯林育種技術園で実際に行われた、アカシア・アウリカリホルミスの採穂木の仕立て方を紹介します。

2. 採穂木の仕立て方

採穂木の仕立て方は、平刈り、低刈り、高刈りなど幾つかの様式に分類されます。このうち、平刈りが最も基本的な様式で、芯止めした主幹から分岐角度が広い主枝を数本作り、そこから側枝を発達させるというものです。その他の低刈りおよび高刈りはこの平刈りを応用させたものです。

以下に平刈りによるアカシア・アウリカリホルミスの採穂木の仕立て方の手順を説明します。

①主幹の芯止めおよび主枝の選定

樹齢2年生時もしくは3年生時において、主幹（写真一下）を樹高1m程度で芯止めします。芯止め付近の高さで主幹から発生している枝を、全方位均等になるように3本程度選定し主枝（写真一下）とします。

②主枝の育成

主枝は30cm程度を残して、切り返しせん定を行い安定させます。他の枝については間引きせん定を行います。その後、主幹などから徒長枝が発生しやすく樹型を乱しがちなため、後の管理が肝要です。

③側枝の育成

翌年、翌々年と順次、主枝から側枝（写真一下）、側々枝を育成するよう整枝せん定を行います。そのせん定は②と同じ要領で行います。

④採穂木の維持・管理

その後は、前年に発生した枝を取り除き、樹形の維持に努めます。その際、着葉枝を全て取り除いてしまうと、樹勢の衰退につながるがあるので、着葉枝を数本残すようにします（写真一上下）。



写真 整枝せん定前後の採穂木の様子
(上：前，下：後)

3. おわりに

熱帯地域における天然林の減少がとりざたされて久しいですが、その減少には歯止めがかかりません。今回紹介した取組の成果により、熱帯地域における持続可能な森林経営が促進され、天然林の減少が緩和されることを期待し、今後も調査・研究を進めていきます。

(林木育種センター 育種第一課 小川 靖)

シリーズ 採種(穂)園の経営 (2)

採種園の改良

1. はじめに

昭和32年に木材生産力の増強を主目的として精英樹選抜育種事業が本格的に始まりました。精英樹選抜の基準は厳しく、林分内で成長や幹の通直性などが最も優れている個体を選抜していますが、林木の特性上、その選抜した個体が遺伝的に優れているかどうかを明らかにするための次代検定に長期間を必要とします。そのため、次代検定と種苗生産用の採種(穂)園の造成を同時並行で進めてきました。

過去数十年間の次代検定林や特性調査の結果も取りまとめられてきており、よりの確な採種園の改良ができるようになってきました。本稿では、その改良方法のシミュレーションについて紹介します。

2. 改良方法の考え方

各都道府県では、精英樹の選抜と同時に種苗生産者へ早期に育種種子を普及するためにその生産基盤となる採種園を造成しています。各都道府県で設定された採種園の改良目的は、その構成クローンが設定目的に適合しているかを把握し、より目的に合ったクローン構成にするために、次代検定の結果から目的とする特性を有するクローンを導入することで、採種園から得られる種子の質を向上させることです。

すなわち、改良についての基本的な考え方は、それぞれの目的にあったクローンと不必要なクローンを入れ替えて採種園のクローン構成を変えることです。

3. 精英樹特性表

次代検定林等の調査結果を取りまとめたものが精英樹特性表(以下「特性表」という。)です。この特性表は、成長や材質、種子生産性など多くの特性について評価されており、採種園から生産される種苗特性の目安になります。次代検定林や特性表については、本誌No. 15号で詳しく紹介されていますので、そちらを参照してください。

4. 採種園の現状把握

既存の採種園に植栽されている精英樹について、各都道府県に配布されている特性表を参考とし、評価値を取り出します。特性表は5段階に評価されており、5が優良な成績を示し、1に近づくにつれ成績が余り良くないことを意味しています。取り出した特性値を加重平均により算出し、採種園全体の現状すなわち集団品種としての特性を数値的に把握することが可能となります。

5. クローンの除去、導入

現状を把握後、都道府県が造林地域に適した改良(例えば、積雪の多い地域では根元曲りの少ないもの)や材質に重点を置くなど育種目標を明確にし、目標に合わないクローンや評価が低いクローンの除去を行います。クローンを除去することによっても改良の効果は現れますが、改良目標に合ったクローンの導入により、さらにその効果は大きくなります。導入するクローンは、造林事業に必要な種子量の確保を考慮し、改良目標に合ったクローンを特性表から選び、採種園の規模に合わせ本数を調整します。

6. 改良シミュレーション

林木育種センターでは、簡易な改良シミュレーションソフトを作成しています。現在はロータス1-2-3での講習指導をしていますが、このソフトを利用している都道府県が少なくなっており、各都道府県と調整を行い、林木育種センターでシミュレーション結果を出して指導・調整するため、Microsoft Excelへの移行作業を行っています。図-1がExcelで現在作成中の改良シミュレーションソフトです。図-2は現状(改良前)と改良後を表します。改良結果が一目瞭然となります。なお、採種園の改良の他に新規に造成する採種園のシミュレーションにも活用可能となります。

このシミュレーションソフトについては、都道府県の担当者が利用できるよう今後の講習指導にも取り入れていく予定です。

7. おわりに

精英樹選抜育種事業が始まった当初は、花粉の少ないスギなど優良種苗の大量生産に支障を及ぼすクローンは除外対象となり、精英樹特性表などから林業従事者(篤林家・苗木生産者)や木材加工業者(製材業)等の要望等を取り入れ改良を行っていました。しかし、森林・林業を取り巻く社会・経済情勢も変わり、木材生産力の増強のほかに花粉症対策やCO₂吸収・固定能力の高い品種など環境保全型といえる品種の需要が高まってきており、従来の目標に加えて、時代の要請に基づく種苗生産が必要となってい

ます。

今後は、これまでに培ってきた林木育種の成果を利用して採種(穂)園を適切に維持・管理しつつ、時代の要請に応じた品種の種苗生産を迅速に行うことが重要な課題となっています。

参考文献

大庭喜八郎ほか、林木育種学(1991)

(林木育種センター 指導課 千葉信隆)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH	BI	BJ	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL	CM	CN	CO	CP	CQ	CR	CS	CT	CU	CV	CW	CX	CY	CZ	DA	DB	DC	DD	DE	DF	DG	DH	DI	DJ	DK	DL	DM	DN	DO	DP	DQ	DR	DS	DT	DU	DV	DW	DX	DY	DZ	EA	EB	EC	ED	EE	EF	EG	EH	EI	EJ	EK	EL	EM	EN	EO	EP	EQ	ER	ES	ET	EU	EV	EW	EX	EY	EZ	FA	FB	FC	FD	FE	FF	FG	FH	FI	FJ	FK	FL	FM	FN	FO	FP	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY	FZ	GA	GB	GC	GD	GE	GF	GG	GH	GI	GJ	GK	GL	GM	GN	GO	GP	GQ	GR	GS	GT	GU	GV	GW	GX	GY	GZ	HA	HB	HC	HD	HE	HF	HG	HH	HI	HJ	HK	HL	HM	HN	HO	HP	HQ	HR	HS	HT	HU	HV	HW	HX	HY	HZ	IA	IB	IC	ID	IE	IF	IG	IH	II	IJ	IK	IL	IM	IN	IO	IP	IQ	IR	IS	IT	IU	IV	IW	IX	IY	IZ	JA	JB	JC	JD	JE	JF	JG	JH	JI	IJ	JK	KL	KM	KN	KO	KP	KQ	KR	KS	KT	KU	KV	KW	KX	KY	KZ	LA	LB	LC	LD	LE	LF	LG	LH	LI	LJ	LK	LM	LN	LO	LP	LQ	LR	LS	LT	LU	LV	LW	LX	LY	LZ	MA	MB	MC	MD	ME	MF	MG	MH	MI	MJ	MK	ML	MM	MN	MO	MP	MQ	MR	MS	MT	MU	MV	MW	MX	MY	MZ	NA	NB	NC	ND	NE	NF	NG	NH	NI	NJ	NK	NL	NM	NN	NO	NP	NQ	NR	NS	NT	NU	NV	NW	NX	NY	NZ	OA	OB	OC	OD	OE	OF	OG	OH	OI	OJ	OK	OL	OM	ON	OO	OP	OQ	OR	OS	OT	OU	OV	OW	OX	OY	OZ	PA	PB	PC	PD	PE	PF	PG	PH	PI	PJ	PK	PL	PM	PN	PO	PP	PQ	PR	PS	PT	PU	PV	PW	PX	PY	PZ	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM	QN	QO	QP	QQ	QR	QS	QT	QU	QV	QW	QX	QY	QZ	RA	RB	RC	RD	RE	RF	RG	RH	RI	RJ	RK	RL	RM	RN	RO	RP	RQ	RR	RS	RT	RU	RV	RW	RX	RY	RZ	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SJ	SK	SL	SM	SN	SO	SP	SQ	SR	SS	ST	SU	SV	SW	SX	SY	SZ	TA	TB	TC	TD	TE	TF	TG	TH	TI	TJ	TK	TL	TM	TN	TO	TP	TQ	TR	TS	TT	TU	TV	TW	TX	TY	TZ	UA	UB	UC	UD	UE	UF	UG	UH	UI	UJ	UK	UL	UM	UN	UO	UP	UQ	UR	US	UT	UU	UV	UW	UX	UY	UZ	VA	VB	VC	VD	VE	VF	VG	VH	VI	VJ	VK	VL	VM	VN	VO	VP	VQ	VR	VS	VT	VU	VV	VW	VX	VY	VZ	WA	WB	WC	WD	WE	WF	WG	WH	WI	WJ	WK	WL	WM	WN	WO	WP	WQ	WR	WS	WT	WU	WV	WW	WX	WY	WZ	XA	XB	XC	XD	XE	XF	YG	YH	YI	YJ	YK	YL	YM	YN	YO	YP	YQ	YR	YS	YT	YU	YV	YW	YX	YY	YZ	ZA	ZB	ZC	ZD	ZE	ZF	ZG	ZH	ZI	ZJ	ZK	ZL	ZM	ZN	ZO	ZP	ZQ	ZR	ZS	ZT	ZU	ZV	ZW	ZX	ZY	ZZ																																																																																
12	区別番号		255	以下表示																	読取値	14	32	65	97	129	161	193	225	257	289	321	353	385	417	449	481	513	545	577	609	641	673	705	737	769	801	833	865	897	929	961	993	1025	1057	1089	1121	1153	1185	1217	1249	1281	1313	1345	1377	1409	1441	1473	1505	1537	1569	1601	1633	1665	1697	1729	1761	1793	1825	1857	1889	1921	1953	1985	2017	2049	2081	2113	2145	2177	2209	2241	2273	2305	2337	2369	2401	2433	2465	2497	2529	2561	2593	2625	2657	2689	2721	2753	2785	2817	2849	2881	2913	2945	2977	3009	3041	3073	3105	3137	3169	3201	3233	3265	3297	3329	3361	3393	3425	3457	3489	3521	3553	3585	3617	3649	3681	3713	3745	3777	3809	3841	3873	3905	3937	3969	4001	4033	4065	4097	4129	4161	4193	4225	4257	4289	4321	4353	4385	4417	4449	4481	4513	4545	4577	4609	4641	4673	4705	4737	4769	4801	4833	4865	4897	4929	4961	4993	5025	5057	5089	5121	5153	5185	5217	5249	5281	5313	5345	5377	5409	5441	5473	5505	5537	5569	5601	5633	5665	5697	5729	5761	5793	5825	5857	5889	5921	5953	5985	6017	6049	6081	6113	6145	6177	6209	6241	6273	6305	6337	6369	6401	6433	6465	6497	6529	6561	6593	6625	6657	6689	6721	6753	6785	6817	6849	6881	6913	6945	6977	7009	7041	7073	7105	7137	7169	7201	7233	7265	7297	7329	7361	7393	7425	7457	7489	7521	7553	7585	7617	7649	7681	7713	7745	7777	7809	7841	7873	7905	7937	7969	8001	8033	8065	8097	8129	8161	8193	8225	8257	8289	8321	8353	8385	8417	8449	8481	8513	8545	8577	8609	8641	8673	8705	8737	8769	8801	8833	8865	8897	8929	8961	8993	9025	9057	9089	9121	9153	9185	9217	9249	9281	9313	9345	9377	9409	9441	9473	9505	9537	9569	9601	9633	9665	9697	9729	9761	9793	9825	9857	9889	9921	9953	9985	10017	10049	10081	10113	10145	10177	10209	10241	10273	10305	10337	10369	10401	10433	10465	10497	10529	10561	10593	10625	10657	10689	10721	10753	10785	10817	10849	10881	10913	10945	10977	11009	11041	11073	11105	11137	11169	11201	11233	11265	11297	11329	11361	11393	11425	11457	11489	11521	11553	11585	11617	11649	11681	11713	11745	11777	11809	11841	11873	11905	11937	11969	12001	12033	12065	12097	12129	12161	12193	12225	12257	12289	12321	12353	12385	12417	12449	12481	12513	12545	12577	12609	12641	12673	12705	12737	12769	12801	12833	12865	12897	12929	12961	12993	13025	13057	13089	13121	13153	13185	13217	13249	13281	13313	13345	13377	13409	13441	13473	13505	13537	13569	13601	13633	13665	13697	13729	13761	13793	13825	13857	13889	13921	13953	13985	14017	14049	14081	14113	14145	14177	14209	14241	14273	14305	14337	14369	14401	14433	14465	14497	14529	14561	14593	14625	14657	14689	14721	14753	14785	14817	14849	14881	14913	14945	14977	15009	15041	15073	15105	15137	15169	15201	15233	15265	15297	15329	15361	15393	15425	15457	15489	15521	15553	15585	15617	15649	15681	15713	15745	15777	15809	15841	15873	15905	15937	15969	16001	16033	16065	16097	16129	16161	16193	16225	16257	16289	16321	16353	16385	16417	16449	16481	16513	16545	16577	16609	16641	16673	16705	16737	16769	16801	16833	16865	16897	16929	16961	16993	17025	17057	17089	17121	17153	17185	17217	17249	17281	17313	17345	17377	17409	17441	17473	17505	17537	17569	17601	17633	17665	17697	17729	17761	17793	17825	17857	17889	17921	17953	17985	18017	18049	18081	18113	18145	18177	18209	18241	18273	18305	18337	18369	18401	18433	18465	18497	18529	18561	18593	18625	18657	18689	18721	18753	18785	18817	18849	18881	18913	18945	18977	19009	19041	19073	19105	19137	19169	19201	19233	19265	19297	19329	19361	19393	19425	19457	19489	19521	19553	19585	19617	19649	19681	19713	19745	19777	19809	19841	19873	19905	19937	19969	20001	20033	20065	20097	20129	20161	20193	20225	20257	20289	20321	20353	20385	20417	20449	20481	20513	20545	20577	20609	20641	20673	20705	20737	20769	20801	20833	20865	20897	20929	20961	20993	21025	21057	21089	21121	21153	21185	21217	21249	21281	21313	21345	21377	21409	21441	21473	21505	21537	21569	21601	21633	21665	21697	21729	21761	21793	21825	21857	21889	21921	21953	21985	22017	22049	22081	22113	22145	22177	22209	22241	22273	22305	22337	22369	22401	22433	22465	22497	22529	22561	22593	22625

スポット 系統評価のための統計的手法（４）

林木の次代検定は、検定林ごとの供試系統や各系統の供試回数、調査年次は不揃いとなり、データの精度が不均一となることが避けられません。このようなデータから、系統の育種価を予測する方法としてBLP法（Best Linear Prediction）が用いられています。

BLP法では系統の育種価の予測値を、対象形質の検定林平均値からの偏差（観測値）、観測値と予測対象形質の育種価（予測値）との共分散、観測値相互間の分散共分散によって計算します。gを予測値のベクトル、yを観測値ベクトル、Cを観測値と予測値との共分散行列、Vを観測値相互間の分散共分散行列とすると、予測値の誤差分散が最小となる次の式で求められます。

$$g = C' \cdot V^{-1} \cdot y \quad \cdots (1)$$

$C' \cdot V^{-1}$ は、行列Cがgとyの共分散、行列Vがyの分散であることから、 $Cov(g,y)$ を $Var(y)$ で除した形となり、式（１）はyとgを関係づける重回帰式と見なせます。 $C' \cdot V^{-1}$ は、系統ごとに試験精度や供試回数によって決まり、予測値に精度を反映させることができます。また、異なる年次や形質のデータも分散共分散行列が求まれば、対象形質の育種価の推定に使用できます。

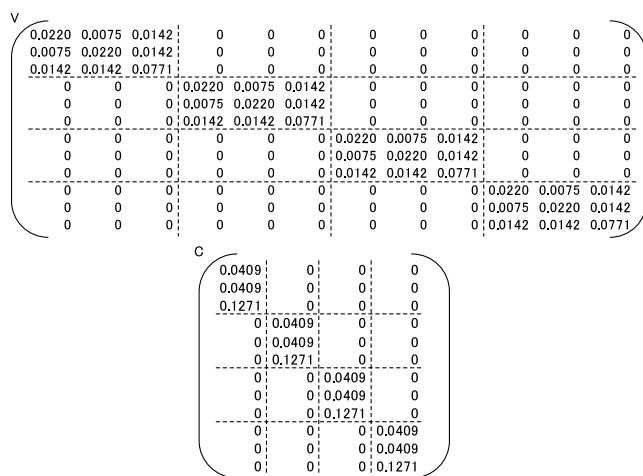
表－１の樹高のモデルデータ（平均値からの偏差でyに相当する）についての行列V、Cを図－１に示します。１号、２号検定林は５年次、３号検定林は１０年次の樹高を調査して家系平均値、分散共分散が得られており、４家系の２０年次の育種価を予測します（WHITE and HODGE 1989）。行列Vの左上の３行３列には家系Aの１号、２号、３号検定林の家系平均値の分散共分散が要素となり、以下家系B、C、Dと続きます。対角要素は分散で、すべての家系で同じとし、５年次0.0220、１０年次0.0771が得られています。非対角要素は、異なる検定林の同一家系間では共分散の４分の１が要素となり、0.0075、0.0142が得られています。それ以外の組合せでは０です。行列Cの最左列には家系Aの１号、２号、３号の調査した５年次または１０年次と予測する２０年次の共分散の２分の１が要素

となり、0.0409と0.1271が得られています。以下家系B、C、Dと続きます。式（１）から、各家系の育種価の予測値が計算できます。

スギ等の次代検定データについてBLP法により育種価が予測され、データの精度や供試回数が育種価の予測値に反映していることが確認されています。これは、予測値の大きい系統、逆に小さな系統を選抜する場合、予測値の信頼度の低い系統を選抜する危険性が少なくなることを意味します。採種園の改良のように上位または下位の系統を選抜する場合に、BLP法が有効であることがわかります。

表－１ 樹高のモデルデータ（単位はm）

家系	検定林		
	1号(5年次)	2号(5年次)	3号(10年次)
A	0.6	0.2	1.0
B	1.0	1.0	0.0
C	-0.3	-0.3	0.6
D	-0.3	0.0	-1.3



図－１ 行列V（上）と行列C（下）の例

引用・参考文献

WHITE, T. L. and HODGE, G. R. : Predicting breeding values with applications in forest tree improvement. 367pp (1989)

（林木育種センター 保存評価課 久保田正裕）