

第二期交雑育種事業化プロジェクトの目的と実施成果の総括

宮田 増男⁽¹⁾

Masuo MIYATA⁽¹⁾

An Outline of Purpose and Progress of the Second Cross Breeding Project

要旨：第二期交雑育種事業化プロジェクトは、技術開発プロジェクトではあるが、技術開発を行いながら造成する育種集団林は、第二世代精英樹等を選抜する母集団であることを念頭に事業的な側面を重視しつつ推進された。その事業成果としては、7樹種について62分集団の2,741の組合せの人工交雑が行われた。これらの交雑から育成された苗木により設定された検定林は34分集団からの56箇所、29haである。一方、技術開発等の研究成果では、スギを対象にした施設内交配の定着化や広葉樹における種間交雑等の交配技術の開発、向上、さらには花粉の貯蔵技術の開発が進められた。また、多くの樹種について交配組合せ効果の解明や育種集団林等に係る調査データ入力プログラムの改良や調査データを分析するためのプログラムの開発や改良が進められた。

1 はじめに

精英樹等の次世代を目指し、昭和55年から10年間の「交雑育種事業化プロジェクト」では、交配技術等の諸技術の開発が進められ、平成2年度から平成10年度までの9年間の「第二期交雑育種事業化プロジェクト」では、いままでに開発された基礎的な諸技術を用いて、育種集団林の造成等の応用的、実践的な技術開発が実施された。さらに、平成11年度からは「育種集団林造成プロジェクト」が実施されている。

9年間実施された第二期交雑育種育種事業化プロジェクトについて、その目的、事業成果及び技術開発等の研究成果について、その概要を取りまとめた。

2 プロジェクトの目的

昭和55年度から実施された「交雑育種事業化プロジェクト」では、交配技術自体の技術開発及び主要形質の遺伝様式の解明を目的としたのに対して、平成2年度からの「第二期交雑育種事業化プロジェクト」では、次世代の精英樹等の選抜の母体となる育種集団林の造成に技術開発の重点を移している¹⁸⁾。

なお、本プロジェクトは、技術開発のプロジェクトではあるが、単に技術開発のみを行うのではなく、技術開発を行いながら造成する育種集団林は、将来、第二世代精英樹等のかなりの部分が選抜される母集団でもあることを

(1) 林木育種センター

〒319-1301 茨城県多賀郡十王町伊師3809-1

Forest Tree Breeding Center

3809-1 Ishi, Juo, Toga, Ibaraki 319-1301 Japan

念頭に、事業的な側面も意識しつつ、推進された。すなわち、事業部分と技術開発部分からなっているということができる。

3 プロジェクトの実施成果

3.1 事業成果

第二期交雑育種事業化プロジェクトで実施した交雑の実施概要及びその交配苗木により造成された検定林は表1のとおりであり、交雑の対象とした樹種は、トドマツ、アカエゾマツ、スギ、ヒノキ、アカマツ、クロマツ及びブナの7樹種で、分集団数は62で交配組合せ数は2,738にのぼっている。これらの人工交雑から育成された苗木により設定された検定林は34分集団からの56箇所、29haである。

また、これらの人工交雑を行ったものの改良目標は表2のとおり、成長、材質、各種抵抗性等となっており、単一形質のさらなる改良を目指すものと複数の形質について改良を目指すものがある。

3.2 技術開発等研究成果

3.2.1 交配技術の開発、向上に関する研究

交配技術の開発、向上については、「交雑育種事業化プロジェクト」において盛んに進められたが、第二期交雑育種事業化プロジェクトにおいても事業の中等において引き続きその推進が図られた。

表1. 第二期交雑育種事業化プロジェクトの実施概要

育種基本区	樹 種	交配実施			検定林設定	
		分集団数	母樹数	組合せ数	箇所数	面積 (ha)
北海道	トドマツ	1	24	36		
	アカエゾマツ	1	20	30		
東 北	スギ	13	341	663	19(7)	14.42
	アカマツ等	2	29	103		
	ブナ	1	6	21		
関 東	スギ	8	219	344	8(4)	
	ヒノキ	4	80	90	2(2)	
関 西	スギ	4	50	180	4(4)	1.63
	ヒノキ	9	160	425	6(6)	1.84
	クロマツ	1	13	42	1(1)	0.58
九 州	スギ	13	300	588	14(8)	9.51
	ヒノキ	5	134	216	2(2)	1.43
合 計		62	1,376	2,738	56(34)	29.41

注) 検定林設定の箇所数の括弧書きは、分集団数を表す。

表 2. 第二期交雑事業化プロジェクトの期間において実施された人工交雑における改良目標

育種基本区	樹 種	改 良 目 標
北海道	トドマツ アカエゾマツ	成長 成長
東 北	スギ アカマツ等 ブナ	成長, 雪害抵抗性, 成長×雪害抵抗性, 成長×寒害抵抗性, 成長×材質 マツノザイセンチュウ抵抗性 堅果稔性
関 東	スギ ヒノキ	成長, 材質, 成長×材質 成長
関 西	スギ ヒノキ クロマツ	天然しぼ, 成長×スギカミキリ抵抗性, スギカミキリ抵抗性×雪害抵抗性 成長, 雪害抵抗性, 漏脂病抵抗性, 天然しぼ, 成長×心材色 成長×マツノザイセンチュウ抵抗性
九 州	スギ ヒノキ	成長, 幹の通直性, 材色, 成長×幹の通直性, 成長×幹の通直性, 幹の通直性×材色, 成長×スギザイノタマバエ抵抗性 成長, 枝径, 成長×幹の通直性

スギを対象に、自然被害の防除等に資する施設内交配が試みられ、一部に課題を残しているものの技術的な定着がみられた³⁰⁾。また、スギ及びヒノキの交配には半透明のセルロース・ケーシング製の交配袋の使用が可能であることが明らかになった²⁸⁾。

広葉樹の交配技術の開発、向上の一環として、シラカンバやウダイカンバ等のシラカンバ属について、自殖及び種間交雑では自然交配及び種内他殖に比べて稔性が低下することが明らかになった。しかし、種間交雑により稔性は低いが発芽個体を得られることが明らかになった⁷⁾。また、ブナ精英樹を対象とした人工交配において、自家受粉では堅果の充実率は1%以下で、他家受粉ではその率は32~77%と推定された¹³⁾。ナラ類について、人工交雑の親和性の検討を行った結果、結果率（総雌花数に対する採取堅果数の割合）は、ミズナラの種内交配は豊年作と凶年作に著しい差があり、ミズナラ×コナラは極めて低かったがコナラ×ミズナラは比較的高い値を示した¹⁴⁾。

花粉の貯蔵に関連する技術開発として、液体窒素中に5年間保存したスギ花粉を用いて人工交配を行った結果、得られた種子の100粒重と有胚率については、液体窒素保存の影響はみられなかった³⁰⁾。樹種別（クロマツ、タイワンアカマツ、和華松、スギ、ヒノキ、クスギ）に花粉の液体窒素などによる低温貯蔵について検討し、樹種によって発芽率の経時変化が異なること、低温貯蔵の有効性も異なることなどが明らかにされた²⁸⁾。虫媒花花粉のセイヨウバクチノキについても、液体窒素を使用すれば2年間の貯蔵が可能であった²⁸⁾。

3.2.2 交配組合せ効果の解明等に関する研究

交配組合せ効果の解明や次世代精英樹の選抜法の検討などが進められ、まず、交配組合せ効果の解明に関しては、以下のようなものがある。

精英樹等を用いたものとしては、スギでは、10年次及び15年次の交配家系を用いた検定林における樹高、胸高直径、根元曲がり及び幹曲がりの各種分散成分及び狭義の遺伝率等の遺伝パラメータが推定され^{17, 30)}、また、交配家系の植栽後10成長期分の樹高を分析した結果では、狭義の遺伝率は5年次以降に顕著に増加することが確認された²⁴⁾。18年生のスギ交配家系を用いた、ヤング率と胸高直径の組合せ能力の推定では、ヤング率は一般組合せ能力に有意差が認められたが、この結果は全国の在来品種の相互間で交配した家系での特定組合せ能力が大きかった結果と異なっていた。胸高直径の一般組合せ能力は有意ではなかったが、一般組合せ能力の高い精英樹もあり、採種園方式による増殖においても、母樹クローンの選択によってヤング率、肥大成長量とともに改良できる可能性が示唆された²⁾。また、生材含水率では、特定の母樹の家系と特定の両親の家系は心材含水率が高くなっており、特定組合せ能力の存在が予想された¹⁾。

ヒノキについては、精英樹交配家系の4年生の苗木の苗高において、一般組合せ能力に有意差が認められたが、特定組合せ能力、正逆交雑の差は認められなかった。狭義の遺伝率は0.54であった¹⁵⁾。

アカマツについては、交配家系の調査分析により、ヤング率及びピロディンの打ち込み深さの狭義の遺伝率がそれぞれ0.37及び0.27であることを推定するとともに、両者に高い遺伝相関のあることが明らかになった⁹⁾。また、アカマツの近親交配の影響について、近交係数0.5以上の交配家系から成長が劣り近交弱勢が現れること、完全又は半兄弟間の交配では近交弱勢の影響がほとんど現れないことが明らかになった⁸⁾。

カラマツについては、20年次の精英樹交配家系の樹高と胸高直径の組合せ能力が推定され、一般組合せ能力に有意性が認められたが、特定組合せ能力、正逆交雑の差は認められなかった。スギ、ヒノキと同様に集団選抜育種法が有効であることが実証された¹⁰⁾。また、カラマツ繊維傾斜度では、引き裂き法による早期選抜が有効でその遺伝率は0.46と推定された¹⁰⁾。

トドマツについては、交配家系の解析による一般組合せ能力は5年目の樹高では有意でなかったが、10年目では有意差が認められ、集団選抜育種法はトドマツにとって有効であることが実証された。また、交配に用いた親クローンの樹高と交配家系の樹高とに有意な相関が認められたことから、採種園のクローンの成長調査結果から、採種園の遺伝的な改良が可能であることが示された³²⁾。

抵抗性育種関連では、スギの雪害抵抗性育種について、同じダイアレル交配家系から造成した多雪山地と少雪平坦地の2つの試験地の分析から、根元曲がり是一般組合せ能力が高く、狭義の遺伝率がそれぞれ0.439及び0.496と推定し、抵抗性種苗の生産には採種園方式も有効であることが明らかになった²³⁾。スギの寒害抵抗性について、2種類の交配家系検定林の分析により雌親間及び雄親間に抵抗性の差を確認するとともに、雌親及び雄親の評価値とクローン検定評価値の間に正の相関を認め、クローン検定の評価値を用いて抵抗性個体を選抜し、採種園を造成すること、さらには人工交配により育種を推進することは有効であることが示唆された²⁷⁾。クロマツのマツバノタマバエ抵抗性について、人工交配家系を用いてその抵抗性の遺伝は単一の優性遺伝子によって交配されていることが推定され、ヘテロ接合体でも抵抗性を示すことが示唆された³¹⁾。

樹間交雑の育種に関しては、カラマツ類交雑家系について、野鼠による室内摂食試験の結果、食害をうけ難いカラマツは、その交雑家系も食害を受けにくい傾向がみられた⁵⁾。また、カラマツ及びグイマツの精英樹クローン間並びにグイマツ雑種F₁家系間に耐鼠性の変異が認められることと、交配家系の耐鼠性は両親の耐鼠性の影響を受けることから、耐鼠性が遺伝的支配の比較的高い形質であると推察された⁶⁾。さらに、カラマツ、グイマツの種内及び種間の交雑家系におけるジェチルエーテル抽出物の量に家系間差が認められ、抽出物量と耐鼠正との間に相関

があり、その量の多少は抵抗性の検定手法として応用できると考えられた³⁾。カンバ類幼齢木における調査結果では、野兎及び野鼠は、ウダイカンバを好み、シラカンバ、ダケカンバ及び交雑種は抵抗性を示し、抵抗性を示す物質は樹皮に出ているレンジ・ドロップレットと推察された⁴⁾。成長及び材質の優良な交雑種が期待できるアカエゾマツ×ヨーロッパトウヒの稔性については、アカエゾマツ種内交配に比べて著しく低いが、種子の生産及び苗木の生産は可能であり、10年生時点で成長はアカエゾマツ種内交配家系よりも良好であった²⁰⁾。

広葉樹に関しては、ミズナラについて、近交係数の明らかな個体間の人工交配により、成熟堅果の割合及び堅果重において近交弱勢の存在が示唆された³⁰⁾。また、ミズナラ種内交配家系とミズナラとカシワの交雑家系について、成長、葉形質、堅果等の各種形質の比較調査を行い、樹高や根元径は、両者に有意な差はなかったが、枝の太さ、葉の諸形質、殻斗の総包片長で差がみられた。全体的に種間交雑家系は、両親の種の中間の形質をもつことが明らかになった³⁰⁾。

第二世代精英樹の選抜に関しては、昭和40年代以降に精英樹の人工交配家系を植栽した遺伝試験林が設定されているが、この試験林を活用して第二世代精英樹の選抜が試行的に開始された¹⁹⁾。今後、育種集団林から第二世代精英樹を選抜する際に配慮すべきことが指摘されている。スギ精英樹F₂の近交弱勢を定量した結果、近交係数が0.1上昇すると2年生苗で苗高が7%減少し²¹⁾、3年生苗でも7%の樹高の減少、3.5%の地際直径の減少、4.2%の生存率の減少が確認された。半兄弟間の交配による近交係数は0.125であることから、近縁関係を考慮した選抜及び採種園の設計が必要であることが指摘された²⁰⁾。また、調査データから選抜した個体と現地で直接選抜した個体とは必ずしも一致しなかったことから、調査データ上のみの選抜は難しい場合があることの指摘がある¹⁷⁾。

3.2.3 データ解析手法に関する研究

育種集団林や一般次代検定林の調査データの入力については、従来、テキスト形式での入力が不可能であったが、作業能率の向上等を図るためテキスト形式で入力可能なプログラム「CRAF. EXE」が開発され¹⁰⁾、Loutus 1-2-3などの市販ソフトを活用して入力ができるようになった。

要因交配による育種集団林を分析するための要因交配プログラムが開発された¹²⁾。また、栗延博士が開発した検定林データのN88Basicの分散分析プログラムがVisual Basicに移植された。このことにより、操作が容易になり、NEC製でないパーソナルコンピュータでも使用ができ、さらに、メモリーの制限がなくなりかなり大きいサイズのデータも扱うことができるなどの点が改善された²²⁾。

4 今後の課題

事業的な課題としては、精英樹等の交配材料の特性評価を積極的に推進することが必要である。

また、国有林での育種集団林の造成用地の確保が、皆伐面積の減少により年々厳しくなっている。都道府県有林や市町村有林などを含め、用地確保のさらなる検討を行うとともに、小面積でも設定ができるような交配の方法を検討しなければならないと考えられる。

現在、林木育種センター本所及び九州育種場において、試行的に人工交配家系を用いた検定林から第二世代精英樹の選抜を試みているが、その効果的かつ効率的な選抜手法を今後検討していく必要がある。

引用文献

- 1) 藤澤義武・太田貞明：スギの材質と遺伝—造林木の生材含水率の遺伝様式—，第41回日本木材学会研究発表要旨集，491，1991
- 2) 藤澤義武・田淵和夫・中田了五・谷口 亨：18年生のスギ精英樹交配家系における丸太ヤング率の組合せ能力の推定，林育研報17，95～108，2000
- 3) 林 英司・飯塚和也・河野耕藏：カラマツ類交雑家系における樹皮エーテル抽出物の量的変異，日林北支論43，10～12，1995
- 4) 飯塚和也・林 英司・板鼻直栄・河野耕藏：カンパ類幼齡木に対する野兎及び野鼠の摂食選好性，日林北支論43，13～15，1995
- 5) 飯塚和也・久保田正裕・河野耕藏：カラマツ類交雑家系の野鼠に対する抵抗性，日林北支論41，175～177，1993
- 6) 飯塚和也・丹藤 修・河野耕藏：カラマツ類の耐鼠性に関する研究—交配家系による耐鼠性の検定—，野鼠専門部会報告書，1994
- 7) 板鼻直栄・河野耕藏・長坂寿俊・生方正俊：シラカンパ属の種内及び種間交雑における種子の稔性，日林北支論45，25～27，1997
- 8) 金山央子・宮浦富保・野口常介：アカマツの生存率，樹高及び胸高直径における近交弱勢について，林育研報17，153～161，2000
- 9) 金山央子・向田 稔・宮浦富保：25年生アカマツ人工交配家系及び自然交配家系におけるヤング率等の遺伝率と形質間の遺伝相関，日林講演集110，298～299，1999
- 10) 川村忠士：繊維傾斜度の早期選抜木を花粉親としたカラマツ精英樹人工交配家系における繊維傾斜度の変異，日林論104，399～400，1993
- 11) 河崎久男：CRAF入力マニュアル，平成9年度次代検定林入力講習会テキスト，1997
- 12) 河崎久男・川村忠士：気象害抵抗性の検定林の解析によるスギ寒害抵抗性の検定—要因交配家系の解析プログラムの開発，林育セ東北年報25，45～52，1995
- 13) 河野耕藏・向田 稔：ブナの種内交配における堅果生産能力，日林東北支誌46，117～120，1994
- 14) 河野耕藏・長坂寿俊・織田春紀・久保田権：広葉樹の交雑に関する研究—ナラ類の種内および種間交雑親和性—，林育セ北海道年報（1989年度版），41～43，1991
- 15) 古藤信義・栗延 晋：ヒノキ精英樹交配実生家系の4年生苗木の苗高の組合せ能力の推定，林木の育種特別号，7～9，1996
- 16) 久保田正裕・宮浦富保：カラマツ精英樹交配家系の20年生次における成長形質の組合せ能力の推定，第111回日林学術講演集，2000
- 17) 久保田正裕・大谷賢二・河崎久男：15年生スギ交配検定林における成長形質の遺伝率の推定と次世代精英樹選抜の試み，第109回日林講演要旨集，193，1998
- 18) 栗延 晋：第二期交雑育種事業化プロジェクトについて，林木の育種156，27～27，1990
- 19) 栗延 晋・千吉良治・田中文浩：篤林家によるスギ精英樹交配家系からの優良個体の選抜（I）—その進め方ならびにアンケート調査と選木の結果—，林木の育種特別号，36～38，1999
- 20) 栗延 晋・大谷賢二：スギ精英樹F₂の3年生苗に認められた兄妹交配による近交弱勢，日林論103，337～338，1992
- 21) KURINOBU, S., OHYA, K. and KAWASAKI, H.: Inbreeding depression in two year old F₂ seeding heights of sugi (*Cryptomeria japonica*) resulting from full-sib and half-sib matings, J. Jpn. For. Soc., 73 (5), 388–392, 1991
- 22) 宮浦富保：検定林データの分散分析プログラム（N88Basic版）のVisual Basicへの移植，林育研報15，252～258，1998
- 23) 向田 稔・宮浦富保：多雪山地と少雪平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15，227～241，1998

- 24) 宮浦富保・栗延 晋・蓬田英俊：スギモデル実生採種林における樹高の遺伝分散の経年変化，日林論103，299～300，1992
- 25) 中田了五・山田浩雄：虫媒花花粉の長期貯蔵－セイヨウバクチノキを用いた予備調査－，日林論106，287～288，1995
- 26) 中田了五・山田浩雄・宮浦富保：林木花粉の低温長期貯蔵のいくつかの樹種への適用，林育セ関西年報28，122～130，1992
- 27) 那須仁弥・宮浦富保：スギ要因交配による寒害抵抗性の遺伝的検討，林木の育種特別号，32～35，1999
- 28) 大谷賢二・古藤信義・宮浦富保・栗延 晋：セルロース・ケーシング製交配袋を使用した場合の交配成績，林木の育種特別号，1～3，1995
- 29) 丹藤 修・河野耕蔵・久保田正裕：アカエゾマツ種内及び種間交雑家系の初期成長，日林北支論42，31～33，1994
- 30) 大谷賢二・蓬田英俊・栗延 晋：スギの施設及び野外交配から得られた種子の生産量及び発芽率の比較，林木の育種特別号，1～3，1993
- 31) 寺田貴美雄：クロマツのマツバノタマバエ抵抗性育種に関する研究，林育研報10，1～32，1992
- 32) 生方正俊・河野耕蔵・板鼻直栄：トドマツ精英樹人工交配家系の初期成長における遺伝パラメータの推定，林育研報17，135～151，2000
- 33) 生方正俊・板鼻直栄：ミズナラ天然林の交配実態の解明を目的とした人工交配による近交弱勢の推定，林木の育種特別号，43～45，1997
- 34) 生方正俊・河野耕蔵・飯塚和也：ミズナラ×カシワ交雑家系の形態的特性，日林北支論44，113～116，1996
- 35) 山田浩雄・小林玲爾・中田了五・宮浦富保：液体窒素（－196℃）で長期保存したスギ花粉の種子形成能力，日林誌80（3），201～204，1998
- 36) 蓬田英俊・栗延 晋・半田孝俊：10年生のスギ交配検定林における成長と樹幹形質の遺伝分散の推定，日林関東支論44，95～96，1993