

交雑育種事業化プロジェクト実施報告 —プロジェクト計画と技術開発10か年の成果—

栄 花 茂⁽¹⁾

**Shigeru EIGA : Report of preliminary project on crossbreeding
An outline of programme and the research of the project for ten years.**

要 旨：次世代の育種材料を選抜する集団（育種集団）を形成するための技術開発が、「交雑育種事業化プロジェクト」の名称で1980年から10年間、国立林木育種場で行われた。

この間に、約6千組合せの交雑が行われ、約98kgの種子生産が得られた。これらによって56箇所の次代検定林が造成され、このうちには5箇所のモデル育種集団林が含まれる。

技術開発に関しては、交配材料のアイソザイム等による分類、同定法が確立され、スギ、トドマツ及びコナラ属のアイソザイム遺伝子型が確定された。材の容積密度数と含水率及び心材色等の特性評価がされた。

主要な樹種の交配技術が確立され、作業工程も事業規模での実行を可能にした。スギの施設内交配技術が確立され、効率的で事業レベルでの交配作業を可能にした。

交雑は、精英樹×精英樹、精英樹×抵抗性個体あるいはスギ精英樹×在来品種等の組合せが行われた。交雑に用いられた全ての樹種において、自殖家系のほかに他殖家系においても色素異常苗、奇形苗が見られた。これらでは、多数の形質についての遺伝変異が確認され、単幹性、多枝性、わい性等の変異個体が見られた。これらの結果から、成長、気象害抵抗性、変異形質、アイソザイム等の遺伝様式の一部が確認された。

I プロジェクトの背景

精英樹選抜育種事業が開始された当初において、次代の精英樹は、初代の精英樹によって造成された次代検定林または育種苗によって造成された人工林からの選抜と、初代の精英樹が選抜された林分と同様の既存林分、または当時は弱令であった林分からの追加選抜が考えられていた。

さらに、当時は、樹高あるいは胸高直径等の育種目標となる林木の形質の遺伝率が予想以上に高く推定され、かつ選抜の繰り返しによる遺伝変異の減少も少ないと考えられていた。よって、採種園や造林地のような木材を生産するための生産集団と育種素材を選抜するための特別の集団（育種集団）を分離する必要がなかったと考えられる。

わが国における林木の交雑は、自然雑種の報告が1800年代の初頭にされているが、人工交雑については、池野がヤナギにも自然雑種が多くみられることに注目して、イヌコリヤナギ×ネコヤナギの雑種 F_1 を育成した⁸³⁾。石川、松川はカラマツ属の耐鼠性の向上を目的とする人工交雑を行った⁸⁴⁾。第2次大戦後は交雑育種に関する研究が行われたが、事業的な交雑育種は選抜育種に比べて立ち遅れていた。

その後、アメリカ等の林木育種の先発国での育種理論の展開と実践的な成果にも影響されて、わが国の林

(1) 関東林木育種場

木育種では、育種事業の進展に伴って、次世代の精英樹を選抜するための集団として、人工交雑による育種集団林の造成の必要性が提唱された。この方策をさぐるために、1978年から約半年間、森林総合研究所（旧林業試験場）と関東林木育種場が「次世代の精英樹を選抜するための母集団（育種集団林）に関する勉強会」を開いた。その概要とこれらに関する報告を、戸田⁸⁷⁾、山田⁸⁸⁾、向出⁸⁹⁾、大庭^{78,79)}らがそれぞれ行っている。

これらの報告を参照すると、育種集団林の造成の必要性の概要は、次のようなものである。

① 選抜の繰り返し（反復選抜）による育種効果は、林木の成長が長期間を要することもあって期待されるほどに実践的な育種効果として利用出来ない。

② 自殖弱勢がもたらす劣悪遺伝子の影響は、予想以上に大きいものがある。よって、初代の精英樹による次代検定林または育種種苗によって造成された人工林からの選抜に際しては、特定家系の子供が多く選抜される傾向があり、次世代の精英樹集団には近親交配の弊害が生ずる。その結果、両親の明かなものによる人工交雑による選抜対象集団を育成する必要がある。

③ さし木林業地帯において、さし木品種の優秀性は、一代限りの効果としては利用出来るが、次代以降での遺伝的な向上は、無性繁殖個体である限り期待できない。よって、交雑による新しい実生集団を育成しなければ次代以降の育種効果の向上がない。

④ 実生林業地帯においても格段に優れた精英樹を短期間に得るには精英樹等間の交雑集団からの選抜が必要である。

⑤ 人工造林の拡大、奥地化等に伴い気象害、病虫害の発生及び不良環境への造林の必要性等が増大したことから複合形質を備えた林業品種の育成が望まれている。このような2～3以上の形質を備えた個体の出現は、自然集団からの選抜率が低いので多数選出することが困難である。よって、育種素材間の人工交雑によって、目的形質を合わせ持つ個体・品種の育成を図る必要がある。

さらに、大庭⁷⁸⁾は、勉強会の結果の概要として、育種集団林の具体的に具備すべき条件、設定要領の概要及び事業化するために必要な調査研究項目等についても報告している。

このような背景から、昭和55年からは次世代の精英樹を選抜するための調査研究及び育種技術の開発等を行うために、「国立林木育種場において、「交雑育種事業化プロジェクト」が開発された。

II プロジェクトの計画内容

1. プロジェクトの目的

交雑育種事業化プロジェクトは、次世代の精英樹等を選抜するための集団を育成するための交雑育種事業化を発足させることを目的として次の事を解明し、検討することにした。

- 1) 交雑育種に関する方法論の解明
- 2) 交雑組合せ効果の解明
- 3) 交雑育種事業の各種工程の検討

2. プロジェクトの事業内容

1) 実施機関

国立の各林木育種場が行う。

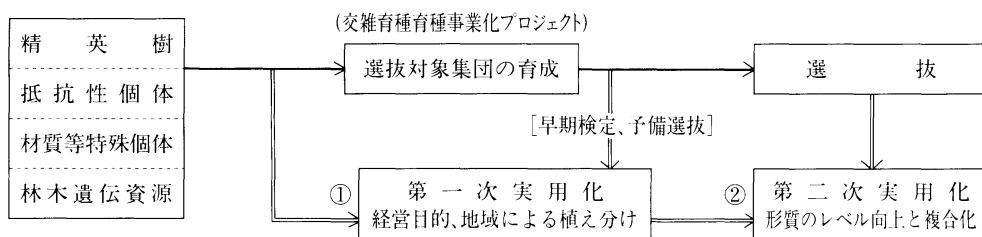
2) 実施期間

昭和55年度から昭和61年度までの7年間である。その後、当プロジェクトは3年間延長されて、平成元年度までの10年間で終了した。

3) 事業の構想と内容

本事業の開始時の構想は、図－1 に示すように①の第一次実用化から②の第二次実用化へ事業を進める段階で想定される技術的な問題の解決を目標として、表－1 のように広い範囲の調査研究テーマを設定した⁸¹⁾。

交配組合せ計画は、当初東北と関東の各林木育種場が主体となって年間500組合せを予定し、その後全場が参加して年間約3,500の組合せを行うこととした。その後、プロジェクト発足後3か年の経過した頃から、技



図－1 交雑育種事業化プロジェクトの基本構想

術開発課題の見直し等もあって、交配計画は表－2 に示すように、7年間で約8,400の総組合せ数を各場(支)別に実行することにした。

複合形質を備えた林業品種の育成方法は、進行中の精英樹選抜育種事業において図－2 に示すような交雑育種としての位置付けが考えられた⁸¹⁾。その方法は、図－2 におけるⅣの「採種(穂)木での抵抗性形質の複合」から出発して、Ⅴの「遺伝様式と形質発現」とⅥの「事業用種苗に要求される特性」等の検討を行い、Ⅲの「抵抗性形質の組み込み」によって形質の複合化を行う。この様な方法によって、2～3以上の形質を備えた林業品種を育成する。成長形質と抵抗性形質の組合せによる形質の複合した品種の育成も同様の方法によるものである。

当時、実施中の事業において今後必要とされた抵抗性の形質は表－3 の通りである⁸¹⁾。

Ⅲ プロジェクトの経過と成果

1. 経過と事業実績

実施期間は、昭和55年から昭和61年までの7年間であったが、未解決の技術開発課題と交配計画が予定通り進まなかったこともあって平成元年まで延長して10年間行われた。

この間に6,393組合せの交雑家系からなる約98kgの種子が生産された。精英樹等の交雑による苗木を用いて56箇所の子代検定林が造成された。これらについての詳細の内容は表－4 の通りである⁸²⁾。この中には、次代の精英樹を選抜したり、あるいは実生採種園を造成することを目的に試験設計されたモデル育種集団林が、北海道地域に3箇所、東北木育種場に1箇所、関東木育種場に1箇所造成された。

2. 交雑を効率的に行うための技術開発課題

1) 交配材料の分類、同定及び特性評価に関する課題

精英樹クローンの特性調査は、精英樹選抜育種事業が開始された直後から各機関で行われ、すでに「精英樹特性表」として発表されている。交雑育種事業化プロジェクトが開始されてからは、交雑を効率的に行う

表一 1. 交雑育種育種事業化プロジェクトの技術開発課題

項 目 育種場	交 配 技 術		検 定 選 抜 技 術			6. 増殖普及技術
	1. 交配母材料の選定	2. 交配技術の開発	3. 早期検定技術	4. モデル育種集団林造成技術	5. 育種集団林における選抜技術	
関 東 (全国課題)		1. フレーム利用による無袋交配技術 2. F_1 の近交による目標形質の集積技術の開発		1. 実生採種林のモデル設計	1. 次代検定林データによる育種区と適応性集団の区分方法の技術開発 2. 次代検定林データによる家系選抜と家系内選抜の方法の技術開発	
関 東 (地域課題)	1. 交配母材料の特性調査	1. 効率的交配型の検討 2. ヒノキの着花促進 3. F_1 の近交による目標形質の集積	1. 耐凍性の早期検定技術 2. スギカミキリ抵抗性の早期検定技術	1. モデル育種集団林の造成 (スギ, ヒノキ, アカマツ, カラマツ) 2. 実生採種林の造成	1. 次代検定データの解析による育種区の検討と適応性集団の区分	
北 海 道	1. 交配種の近縁度の判定技術の開発 2. 交雑不適合性, 不稔性, 選択受粉の機構解明	1. 開花特性の調査 2. 交配作業工程の検討	1. 遺伝様式の解明 (育種効果, 自殖苗率の推定組合せ効果)		1. 育種区の検討	
東 北	1. 着花性, 開花期の早晚性変異の確認 2. 交雑親和性, 組合せ能力の検討	1. 施設内交配作業の効率向上 2. 交配作業工程の調査 3. 高接ぎによる世代促進技術の開発		1. 実生集団林の誘導技術に関する研究	1. 人工交配集団林における家系個体選抜に関する研究	
東北奥羽支場	1. 特性調査			1. 優良母材料の創出	1. 集団林設定方法の検討	
関 西	1. 特性調査 (成長, 形態, 材質, 着花性等)		1. スギカミキリ抵抗性個体の早期検定法 2. スギカミキリ抵抗性の遺伝様式	1. 成長, 形態, 材質, スギカミキリ抵抗性等の多形質優良系統の創出	1. 抵抗性候補木選抜基準の作成検討 2. 育種地図の作成 3. 育種集団林の設定配置と造成用種苗の選択, 情報の収集	
関西山陰支場	1. 特性調査 (C_4 による着花性, アイソザイム等)	1. 着花促進, 葉害防止調査 2. 鉢植えによる交雑, 採種技術の体系 3. 花性調整, 除雄に関する調査 4. 花粉の長期保存	1. 精英樹の遺伝様式の調査 (男性遺伝子の保有等) 2. 形質組合せによる遺伝性調査	1. 多形質優良系統の創出 (精英樹×耐雪性及び耐虫性)	1. クローン選抜と交配法の検討 2. 育種集団林の設定法の検討	1. 多系統交雑における効率的種子生産技術の確立
関西四国支場		1. 人工交配工程表の作成 2. ヒノキ花粉採取法の確立		1. スギ, ヒノキ精英樹の交雑による多形質優良系統の創出 (ヤナセスギ×精英樹)		
九 州	1. 特性調査	1. 交配技術に関する研究		スギ優良系統の創出 2. マツノザイセンチュウ抵抗性に関する集団林の造成	1. 育種モデル集団林の設定に関する研究	

ために、従来の成長、抵抗性の特性調査に加えて、材質の評価、劣性遺伝子の保有、アイソザイム遺伝子型の確定等も積極的に行われた。

スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツの精英樹については、材の容積密度数^{2,3,5,10,15)}、心材色⁶⁾、材の含水率のクローン変動^{2,3,7)}が、育種に利用できるだけの大きい変異の保有が確認された^{4,8,10)}。心材の含水率は、材の乾燥に伴うくわいや凍裂害を起こすが、スギの材色と相関が高いこと、環境との交互作用による変動の多いことが明らかにされた。ヒノキ、アカマツの着花特性、開花特性が調べられた^{9,16,20)}。

交配材料の分類、同定法として、アイソザイム等の分析手法が確立され^{12,18)}、スギについてはクローン間の特性として遺伝子型を決定したものが多くある。さらに、育種材料の極めて近親間の分類、同定法として、トドマツ花粉タンパク質の抗体抗原反応の実用化が検討され、複合抗体による血清学的な手法が開発された^{1,11)}。

(1) 栄花 茂：トドマツの花粉タンパク質について分離、北海道営林局 (天然林における樹群構造と更新

の解析), 207~216, 1981

(2) 藤沢義武, 圓谷浩之, 田島正啓: スギにおける心材形成の個体変異とクローン間差—心材の水分分布の変異—, 日林論**100**, 307~308, 1989

(3) 片寄 譚: トドマツ精英樹クローンの特性—容積密度数及び含水率—, 日林北支論**33**, 95~97, 1985

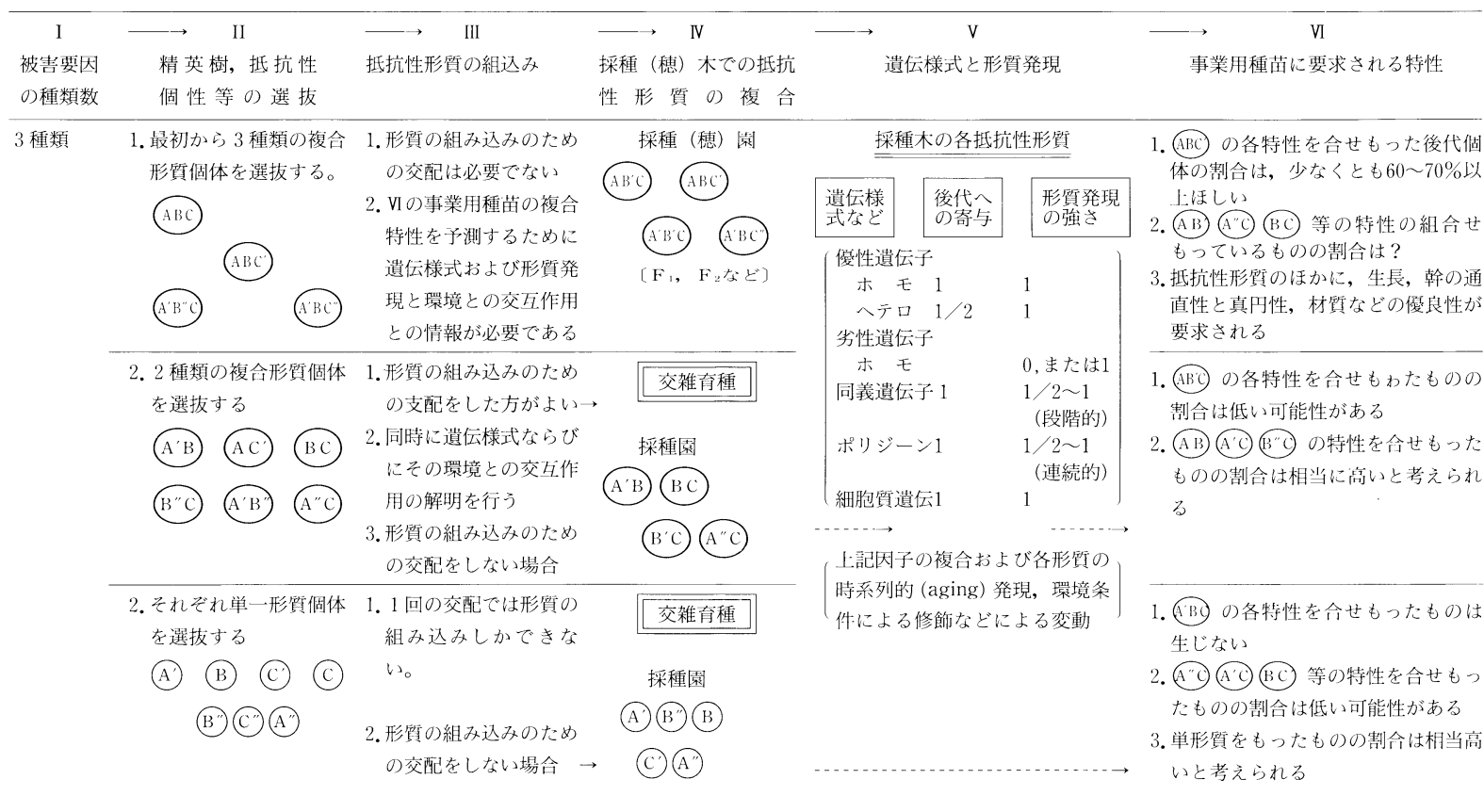
表—2. 交配組合せ数の計画

年 度 育種場	55	56	57	58	59	60	61	計
北 海 道		156		160		324	176	816
東 北	116	112	230	189 (100)	(200)	(200)	(216)	647 (716)
奥 羽					240	240	240	720
関 東	282	192 (144)	244 (144)	189 (144)	520 (144)	575 (144)	600 (144)	2,602 (864)
関 西						50	50	100
山 陰	36	20	42	36	360	360	360	1,214
四 国	30	77	70	70	70	75	75	467
九 州						188	77	265
計	464	557 (144)	586 (144)	644 (244)	1,190 (344)	1,812 (344)	1,578 (360)	6,831 (1,580)
合 計	464	701	730	888	1,534	2,156	1,938	8,411

() 内は実験用交配組合せ

表—3. 現在, 実施中の事業及び今後必要な抵抗性形質

事 業 名	対象樹種	今後の課題 (抵抗性形質)
精英樹選抜育種事業	スギ ヒノキ アカマツ, クロマツ カラマツ エゾマツ トドマツ その他	スギカミキリ, スギノアカネトラカミキリ, スギザイノタマバエ, 冠雪害 スギカミキリ, トックリ病, 漏脂胴枯病など マツノザイセンチュウ, マツパノタマバエ 落葉病, 先枯病 枝枯病
気象害抵抗性育種事業 (雪 害) (凍 害) (寒 風 害)	スギ ヒノキ (アカマツ)	スギカミキリ, スギノアカネトラカミキリ, 冠雪害, 葉枯病, 枝枯病など スギカミキリ, トックリ病, 漏脂病
マツノザイセンチュウ 抵抗性育種事業	アカマツ クロマツ	
カラマツ材質育種事業 (材のねじれ)	カラマツ	落葉病, 先枯病
しいたけ原木用クスギ の育種	クスギ コナラ	



A, B, C, A', B'', C' など: 各種被害要因に対する抵抗性因子を表わす

交雑育種は形質の複合組合せを目的としている: 複合組合せの確実性 (遺伝様式と検定技術) と普及にいたる年数の短縮の技術開発が課題である。

また, 現在実施中の各種の林木育種場との整合性をはかることが不可欠である。

図一 2 林木育種における抵抗性因子 (あるいは形質) の組合せ

表-4. 交雑育種事業化プロジェクトの事業実績

育種場	対 象 樹 種 と 対 象 形 質	昭和62年度末実績		
		交雑組合数	種子生産量	検定林造成数
北海道	モミ属(トドマツ):成長, 枝枯病抵抗性, 耐寒性 トウヒ属(アカエゾマツ):成長, 耐病虫性 カラマツ属(カラマツ, グイマツ):成長, 耐性, 耐病性 シラカンバ属(シラカンバ等):成長, 樹幹形質 コナラ属(ミズナラ, カシワ):成長, 樹幹形質	組合せ 1,081	g 25,759	箇所 7
東 北	スギ:耐寒性, 耐病性(枝枯れ病) アカマツ:成長, 耐病性(マツ葉ふるい病)	1,367	10,106	2
(奥羽)	スギ:成長, 雪害抵抗性	639	11,411	4
関 東	スギ:成長, 耐寒性, 耐病性(カミキリ) ヒノキ:成長, 材質, 耐病性 アカマツ:成長 カラマツ:成長, 材質	1,097	20,530.9	12
関 西	スギ:成長, 材質, 耐虫性(カミキリ) ヒノキ:成長, 材質	500	2,642	13
(山陰)	スギ:耐雪性, 耐虫性, 形態的特性 ヒノキ:耐雪性, 耐虫性, 形態的特性	675	8,262	6
(四国)	スギ:成長, 材質(心材色, 樹幹形質) ヒノキ:成長, 材質	640	11,008	10
九 州	スギ:成長, 材質(心材色, 通直性, 内樹皮厚(ザイタマバエ)) ヒノキ:成長, 材質, 気象害抵抗性, 耐陰性 マツ類:成長, 抵抗性(ザイセンチュウ)	394	7,824.7	2
計		6,393	97,543.6	56

- (4) 河村嘉一郎:スギ精英樹のクローン特性(Ⅰ)―幹の諸形質と年輪幅などについて―, 日林論**91**, 175~176, 1980
- (5) 河村嘉一郎:スギ精英樹のクローン特性(Ⅱ)―容積密度数について―, 日林論**91**, 177~178, 1980
- (6) 河村嘉一郎, 川延公弘:ヒノキ精英樹の心材色変異について, 日林関西支講**31**, 1980
- (7) 川村忠士:スギにおける心材含水率のクローン間変異, 日林東北支誌**39**, 72~73, 1987
- (8) 川村忠士:スギ精英樹クローンの材質調査, 東北林育年報**20**, 38~42, 1989
- (9) 小林玲爾, 綱田良夫, 植月充孝, 植木忠二:交雑育種事業に伴う体系効率化への試み, ―ミニ交雑園と高台円筒型採穂園における各工程と種子品質の比較―日林関西支講**36**, 66~69, 1985
- (10) 小泉章夫, 高田克彦, 上田恒司, 片寄 礒:カラマツ精英樹の肥大成長と材質(第一報), 日本材誌**36**, 98~102, 1990
- (11) 河野耕蔵, 向出弘正:トドマツ花粉による抗原抗体反応, 日林北支講**28**, 132~134, 1980
- (12) 河野耕蔵, 長坂寿俊, 久保田 権:同位酵素の電気泳動パターンによる品種(精英樹)の同定法の開発, 北海道林育年報, 45~51, 1988
- (13) 西村慶二:九州における交配材料の選択と調整, 林育研報**8**, 69~73, 1990
- (14) 西村慶二, 松永健一郎:クローン集殖所におけるスギ精英樹クローンの成長(Ⅱ)林木の育種(特別号), 20~23, 1978
- (15) 西村慶二, 藤本吉幸, 戸田忠雄, 山手広太:スギ精英樹の材質(Ⅰ)―比重のクローン間差―日林九支研論**40**, 101~102, 1988
- (16) 大黒 正, 半田孝俊, 岡村政則, 竹内寛興:ジベレリン処理によるヒノキ精英樹クローンの着花特性,

関西林育四国年報**27**, 45~48, 1989

(17) 森田正彦：スギさしき品種のアンケート調査からみた評価，九育年報**17**, 84~88, 1989

(18) 丹藤 修，佐々木 研，河村嘉一郎：内樹皮アイソザイムの個体内及び季節の変化—スギにおける周年的同定法の可能性—，日林関西支講**39**, 217~219, 1988

(19) 戸田忠雄：九州地方における交配材料の育成—ヒノキのさし木—，林育研報**8**, 75~78, 1990

(20) 吉村研介，三上 進，野口常介：アカマツ精英樹の選抜地とクローンの開花特性，日林東北支誌**35**, 161~163, 1983

2) 交配技術と増殖技術の開発に関する課題

スギ，ヒノキ，マツ類，カラマツ，トドマツ，アカエゾマツ等の交配技術は，ほぼ確立されて，作業工程も事業レベルの実行の見込みがついた。スギ，ヒノキの鉢植えによる簡易フレームを用いた人工交配の技術は，東北，関東及び山陰地方の寒冷地，降雪地において有効であり，施設内交配で得られた種子の形質も良好なものである^{27,28,32)}。

施設による交雑作業の経済性については，直接経費は露地作業とほとんど同じであり，施設費がかかり増しになる程度である。しかし，施設内の作業は，作業の適期，安全性，交配効率等において特に優れている^{27,28,29)}。

これまでに，ほとんど人工交配の経験のないコナラ属，シラカンパ属については，それぞれの種内，種間交雑の交配技術が開発された²⁵⁾。

アカマツでは，高つぎによる世代促進の技術開発が行われた²³⁾。

交配用の花粉，生産された種子の0℃~50℃における低温あるいは超低温下の貯蔵が行われた^{25,26)}。

(21) 半田孝俊：防虫網で球果を虫害から保護したヒノキの人工交配種子の品質とその経済性の検討，林育研報**8**, 101~109, 1990

(22) 井上幹博：アカマツにおける分断ダイアレルクロスの交配作業工程，林木の育種（80年特別号），34~37, 1981

(23) 板鼻直栄：アカマツの世代促進技術開発，東北林育種年報**17**, 59~60, 1986

(24) 小林玲爾，植木忠二，綱田良夫，植月充孝：山陰地域における効率的な交雑技術の体系化に関する研究，林育研報**8**, 129~145, 1990

(25) 河野耕蔵：北方針葉樹のダイアレルクロスと広葉樹の交配技術，林木の育種**152**, 11~15, 1989

(26) 野口常介，川村忠士，板鼻直栄：アカマツにおける種内交配作業の工程と貯蔵した種子の苗木生産，林育研報**9**, 47~81, 1991

(27) 大谷賢二，大庭喜八郎：簡易なビニールフレームを用いたスギの人工配，日林論**95**, 289~290, 1984

(28) 大谷賢二：簡易フレームを用いたスギ人工交配の種子生産効率及び作業工程，林育研報**8**, 93~100, 1990

(29) 竹内寛興，半田孝俊：スギ精英樹の鉢植え個体を用いた交配—ガラス温室及び野外での球果，種子の性質の違い—，日林関西講**37**, 1986

(30) 竹内寛興，半田孝俊：防虫網処理による人工受粉種子の品質向上(Ⅱ)，関西林育四国年報**27**, 49~52, 1989

(31) 戸田忠雄：マツ交配における花粉管理と交配技術，林育研報**8**, 123~127, 1990

(32) 佐々木 研，丹藤 修：ガラス室内鉢植え管理におけるヒノキ苗木の着花促進効果，林育研報**8**,

111～122, 1990

- (33) 山手広太：ヒノキ人工交配における苗生産について，日林九支研論**42**，67～68，1989

3. 交配組合せ効果の推定に関する課題

1) 遺伝変異の創出，確認に関する課題

交雑育種事業化プロジェクトが開始されてからは，急速に各種の交雑組合せが行われ，精英樹間の交雑，精英樹と抵抗性個体との交雑，抵抗性個体間あるいは精英樹と在来品種との交雑等が行われた^{34～38)}。精英樹については，特性調査の結果を利用して，初期成長の早いもの，抵抗性，材質等を区分した交雑，あるいはこれら特定の形質にスギカミキリ抵抗性個体や気象害抵抗性個体，スギ黒点枝枯病等の特殊個体を交雑させたものもある^{45,48,50)}。

これらの交雑からは，多数の遺伝変異の確認と変異個体の創出がなされた。クロマツ×アカマツとカラマツ×グイマツ・チョウセンカラマツの雑種は，両親の成長よりもよく，特にカラマツ×チョウセンカラマツはグイマツ雑種と同等の耐鼠性を示す等の新しい知見が得られた³⁵⁾。

変異苗の出現は，スギ，ヒノキ，トドマツ等ではわい性個体が，トドマツとアカマツとアカエゾマツでは多枝性，単幹性個体が，交配種の全ての樹種において色素異常苗が見られた^{39,40,41,42,52,53,64)}。

- (34) 半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトの第1回交配作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報**16**，179～194，1982

- (35) 半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトのスギ第2回及びヒノキ第1回交雑作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報**17**，9～26，1983

- (36) 半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトで1983年春実行したスギの交配作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報**18**，77～91，1984

- (37) 半田孝俊，大谷賢二，河崎久男：交雑育種事業化プロジェクトで1984年春実行したスギの交配作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報**19**，20～31，1985

- (38) 半田孝俊，竹内寛興，大黒 正，岡村政則：ヒノキクローン集殖所の15年次調査結果による精英樹の特性評価，関東林育四国年報**26**，61～64，1988

- (39) 野口常介：アカマツ種内交配における小形シイナ率と種子生産，日林論**94**，277～278，1983

- (40) 野口常介：アカマツ精英樹自殖家系の成長，東北林育種年報**18**，54，1987

- (41) 河野耕蔵，栄花 茂，中戸川 仁：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅰ）―トドマツの交配家系における葉緑素変異苗の分離―，日林論**94**，267～268，1983

- (42) 河野耕蔵，栄花 茂：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅵ）―トドマツ自殖家系苗の成長と遺伝変異苗の出現―日林論**96**，293～294，1985

- (43) 河野耕蔵，栄花 茂，中戸川 仁：トドマツの交雑育種に関する研究（Ⅱ）―トドマツの交配家系における子葉数の遺伝的変異―日林北支論**32**，110～112，1983

- (44) 大黒 正，岡村政則：ヒノキ精英樹のハーフ，ダイヤレル交配，関西林育四国年報**57**，59年度，1193，1986

- (45) 大黒 正，岡村政則：天然林産ヒノキと人工林ヒノキ精英樹の交配，関西林育四国年報**57**，59年度，1983，1986

- (46) 大谷賢二，河崎久男，半田孝俊：交雑育種事業化プロジェクトで1986年春実行したヒノキの作業工程と得られた種子の性質，関東林育年報**20**，55～64，1986

- (47) 織田春紀, 河野耕蔵, 奥山和彦, 栄花 茂: コナラ属における葉の形状の遺伝形質について, 日林北支論39, 1991 (印刷中)
- (48) 佐々木 研, 河村嘉一郎, 千葉幸弘: スギの初期成長優良形質とスギカミキリ虫害抵抗性形質との複合形質家系の創出, 関西林育年報22, 103~112, 1987
- (49) 竹内寛興, 小笠原健二: スギ精英樹にふくまれる劣性遺伝子について, 日林関西支講36, 1985
- (50) 竹内寛興, 小笠原健二: ヤナセスギと一般スギ精英樹の交配, 関西林育四国年報57, 59, 60年度, 1983, 1985, 1986
- (51) 竹内寛興, 小笠原健二: スギ精英樹のハーフ, ダイヤレル交配, 関西林育四国年報57, 59年度, 1983, 1986
- (52) 竹内寛興: スギ精英樹からの異常苗の出現について, 関西林育四国年報56年度, 75, 1987
- (53) 植木忠二, 小林玲爾, 植月充孝: スギ精英樹の劣性遺伝子の解明, 関西林育山陰年報61年度, 1988
- (54) 植木忠二, 小林玲爾, 植月充孝: ヒノキ精英樹の劣性遺伝子の解明, 関西林育山陰年報, 61, 62年度, 1989, 1990

2) 遺伝様式, 交雑可能度の推定及び組合せの決定に関する課題

交雑の組合せ方法は, スギ, ヒノキ, マツ属では, すでに交雑の経験もあることから, 片面の部分ダイアレルか要因交配法を多く採用している^{44,55,56)}。トドマツ, カラマツでは, 完全ダイアレルあるいは片面の部分ダイアレルによる交雑が行われた²⁵⁾。

精英樹の成長は, これまでにも一般組合せ能力の高いことが確認されており, 当プロジェクトにおいても同様であったが, トドマツとアカエゾマツにおいては, 高い頻度で特定組合せ能力が高く, 特定組合せ能力における正逆交雑の差に有意性が認められている²⁵⁾。スギとアカマツにおいては組合せる精英樹の構成によっては一般組合せ能力に有意な差が認められず, 特定組合せ能力に有為な差が認められる^{55,56)}。このことは, 一般に幼齡期に高い頻度で表れることから, 試験設計による誤差, 自然枯死による歪みもあるが, 種の遺伝的な特性としての発現も示唆される。特定組合せ能力は, いわゆる「交雑育種」による系統選抜等の可能性あるいは育種集団林を形成する際の分集団の構成クローンの選択にも大きな影響をあたえるので, 今後このような問題の解明が必要である。

交雑に用いられた全ての樹種において, 自家受粉では自殖弱勢が著しく現れ, 針葉の白子, 黄化, よれ, 幹では単幹(枝無し), 枝では多枝性等の変異苗の出現が認められた。他家受粉においても組合せによっては, 近交弱勢の現れる精英樹もある。他方, ミズナラの自家授精においては堅果の生産が得られなかった。スギ, ヒノキ精英樹の劣性遺伝子についての遺伝様式の解明がなされた。

推定された遺伝率は, 従来から推定されている樹高等には大きな差異はなかったが, アカマツの葉ふるい病の分散分析によれど, 2年生苗で93%, 5年生苗で36%であった。トドマツの発芽子葉数は34%, 耐霜性は母親の遺伝性を強く受け, その遺伝率は47%であった⁶²⁾。これまでに報告の少ないアカマツの樹高の遺伝率は, 個体で38%, 家系で74%であった⁸²⁾。アカマツの葉ふるい病, カラマツの先枯れ病, 落葉病, マツノザイセンチュウ抵抗性及びスギとトドマツの気象害抵抗性等の形質は, 交雑によって高い確率で遺伝することが明らかになり, これらの遺伝子の集団内への集積を可能にした^{64,65,67)}。

スギ, アカマツ, クロマツ, トドマツ, コナラ属のアイソザイム分析によって, それぞれ5~6酵素種の遺伝子型が確定された^{63,65)}。

- (55) 石井正気, 川村忠士, 三上進: アカマツ精英樹のダイアレルクロスによる組合せ能力の推定, 日林東北

支誌**32**, 82～84, 1980

(56) 川村忠士：アカマツ精英樹の分断ダイヤレルによる実生採種園の設定と樹高の組合せ能力の推定，林育研究**9**, 93～111, 1991

(57) 河野耕蔵，栄花 茂：モミ属の種間交雑に関する研究（I）―トドマツ×ウラジロモミ，シラベの交雑親和性―，日林北支論**34**, 139～141, 1985

(58) 河野耕蔵，栄花 茂：モミ属の種間交雑に関する研究（II）―トドマツ×ウラジロモミ，シラベの交雑可能性について―，日林論**97**, 451～452, 1986

(59) 河野耕蔵，長坂寿俊：広葉樹の交雑に関する研究―カンバ類の種内及び種間交雑可能性―，北海道林育年報**54**～56, 1988

(60) 河野耕蔵，織田春紀，栄花 茂：カラマツ類の種内及び種間交雑の苗木生産能力と雑種苗木の成長，日林論**99**, 247～248, 1988

(61) 河野耕蔵，栄花 茂：アカマツの種内及び種間交雑の種子生産能力と苗木の生育，林木の育種(特別号) 18～22, 1988

(62) 河野耕蔵，栄花 茂，中戸川 仁：トドマツの交雑育種に関する研究（III）―トドマツの交配家系の耐霜性についての遺伝様式―日林北支論**32**, 113～115, 1988

(63) 河野耕蔵，長坂寿俊，織田春紀，栄花 茂，久保田 権：ナラ類の種内交配及び種間交雑における親和性とアイソザイムの遺伝様式，林育研報**9**, 15～36, 1991

(64) 西村慶二，山手広太：スギの2～3の形質の遺伝性―10年生の人工交配検定林における調査結果―日林論**98**, 233～234, 1988

(65) 向田 稔，太田 昇，寺田貴美雄：スギ人工交配家系の造林初期における雪害抵抗性の発現様式，林育研報**8**, 147～161, 1990

(66) 長坂寿俊，河野耕蔵：トドマツ交配種子によるアイソザイム遺伝様式，林育研報**8**, 169～179, 1990

(67) 佐々木 研，河村嘉一郎，丹藤 修：スギ1―1年生苗木の高さについての組合せ能力及び交配選択母材料との関係，日林関西支講**39**, 203～205, 1988

(68) 佐々木 研，河村嘉一郎，千葉幸弘：スギ交雑苗木の1―1年生における苗高についての組合せ能力と遺伝率の推定，林育研報**9**, 37～46, 1991

(69) 田島正啓，浅尾純治：近交係数の違いがスギの諸形質に与える影響―試験地の設定―，九育年報**18**, 61～66, 1990

(70) 戸田忠雄・松永健一郎：ヒノキ交配苗10年時における組合せ能力，遺伝等の推定，日林九支研論**35**, 59～60, 1982

4 育種集団林に関する課題

当プロジェクトで交雑された種子は，育苗されて，多くは次代検定林が造成された。一部は育種集団林が造成された。育種集団林は，将来実生採種林として利用することを前提として造成されたものもある。これらの設計条件^{71,73)}，データの解析⁷²⁾，解析ソフトの開発^{74,76)}及び育種区と育種目標の検討がなされた^{75,77)}。

なお，当プロジェクトの実行期間中には77編の論文等の報告がされた。

(71) 半田孝俊：スギ，ヒノキの人工交配と育種集団林，林木の育種**152**, 15～19, 1989

(72) 河崎久男，栗延 晋：モデル実生採種林のスギ3年次樹高データの解析，林育研報**9**, 83～92, 1991

(73) 栗延 晋：関東林木育種場構内のスギ，ヒノキ実生採種林の設計，関東林育年報**22**, 41～48, 1986

- (74) 栗延 晋：最小2乗法を用いた選抜指数による精英樹評価プログラム，林育研報5，33～58，1987
 (75) 栗延 晋：多世代にわたる林木育種を考える—林木育種の成果はためまぬ世代回転で—，林野通信467，20～21，1990
 (76) 栗延 晋：不連続片面ダイヤレル交配の最小2乗法による分散分析プログラム，林育研報9，～，1991
 (77) 田島正啓：九州育種基本区における育種区と育種目標，林育研報9，～，1991

IV 今後の課題

1 プロジェクト成果の問題点

当プロジェクトの技術開発計画において，交配技術は，主要な樹種の交配材料の選定及び交配作業の工程等についてはほぼ確立された。選抜と検定技術は，数カ所のモデル育種集団林の造成とその設計計画及び解析のためのソフトの開発がされたにすぎない。

今後に残された問題として，精英樹等の育種目標である材質，環境耐性等の形質調査が十分でない。そのため，造成しようとする育種集団林において，異なるいくつかの分集団を形成することが困難である。スギで確立された施設内の交配技術は，ヒノキ，マツ属，カラマツ等への応用化が必要である。着花促進技術は，ヒノキ，カラマツ，トドマツ等では技術の進展が見られなかった。早期検定技術の開発は，林木育種にとって育種年限の短縮の必要性等からも重要な技術であり，当プロジェクトの開始時から課題化されていたにもかかわらず進展がなかった。今後，この技術開発に関しては，成長，材質等についての積極的な取り組みが必要である。広葉樹の交配技術は，コナラ属，シラカンバ属について着手されたが，事業規模での技術開発には至っていないし，対象樹種の拡大も必要である。

今後の課題について，当プロジェクトに参画した各育種場は，表－5のような問題点を明らかにしている。

2 今後の問題点

事業内容	事業内容					
	次代検定	交 雑	育種集団林	選 抜	2 世代採種・樹園	次代検定林
研究課題	1. 次代検定の調査とデータの解析 2. 精英樹の評価	精英樹×精英樹 精英樹×特殊個体 特殊個体×特殊個体	1. 育種集団林の設定調査，データ解析 2. 交雑組合せの評価 3. 実生採種園造成	1. 優良家系の選抜 2. 優良個体の選抜	1. 実生採種園・林造成 2. 2 世代採種園（穂）造成	1. 次代検定林の調査 2. 2 世代精英樹の評価
	1. 情報解析プログラムの開発 2. 育種効果の推定 3. 育種材料，遺伝資源等の諸特性評価技術の開発 4. 早期検定技術の開発	1. 交雑材料の選定に関する研究 2. 交配様式の研究 3. 着花促進技術の開発 4. 効率的な交配技術の開発 5. 遺伝資源の導入技術の開発 6. 育種技術の確立	1. 育種集団林の設定に関する研究 2. 情報解析プログラムの開発 3. 育種材料の交配組合せデータベース化	1. 2 世代目精英樹の選抜技術の開発 2. 各種形質の遺伝母数の推定	1. 実生採種園・林造成技術の開発 2. 2 世代採種園（穂）造成技術	1. 高度情報解析プログラムの開発 2. 育種効果の推定 3. 育種材料，遺伝資源等の諸特性評価技術の開発
事業全般に共通する研究項目						
1. 造林環境地図の作成 2. 種苗配布区域の検討 3. 集団選抜育種の実践的な研究						

図－3 今後の育種集団林造成に伴う事業と研究の概要

これまでに見たように、育種集団林の造成を事業的に進めるためには、解決すべき課題があると考えられる。当プロジェクトの成果を踏まえて、育種集団林を造成を進めるために、その事業内容と研究課題の概要は図－3の通りである。

初代精英樹からなる次代検定林の評価データを基にして交雑組合せを行い育種集団林を造成する事業全般の流れは、これまでに示された通りである。ただし、早期に次世代による改良種苗を普及させるためには、育種集団林を実生採種林（園）に誘導することを前提として造成するための技術開発とその実行が必要である。

研究課題について、さらに具体的な内容とその重要度を示すと表－6の通りである。事業全般に共通する

表－5 育種集団林造成についての各育種場における今後の問題について

区 分	課 題 名	北 海 道	東 北	奥 羽	関 東	関 西	山 陰	四 国	九 州
技術開発	1. 交配材料の特性評価と選択	抵 抗 性		雪 害	目 標 形 質			材 質	
	2. 着花促進技術の確立		カラマツ	幻胎木の雄花 芽	ヒノキ・カラマツ				着花不良クローン
	3. 花粉の長期保存技術の確立	○	○		○	○			
	4. 交配技術の確立	広 葉 樹	施設内稔性		施設内ヒノキ	施設内無袋	施 設 内		施設内マツ
	5. ミニチュア交雑園の造成					○	○		
組合せ効果	6. 早期検定技術の確立	種子、苗子	抵 抗 性	雪 害	目 標 形 質	苗 畑		材 質	目 標 形 質
	1. 交配様式、交配計画			規 模					
	2. 複合形質の創出								
育種集団林	3. 遺伝様式の解明	抵抗性、ア イソザイム	スギ黒点技 枯 病	雪 害	○			*	
	4. 遺伝母数の推定		アカマツ						
	1. 実生採種林の造成法					○			
そ の 他	2. 育種集団林造成の技術開発				○	○			
	3. 集団林造成用地の確保			○			○		
	1. スギの溝腐れ病対策								○
	2.								
	3.								

* ……主働遺伝子の対立性

表－6 育種集団林造成において取り組む研究課題について

研 究 項 目	重要度*	内 容
事業全般に共通する項目		
1. 種苗配布区域の検討	◎	次代検定林の解析による現在の育種区の見直し
2. 造林環境地図の作成	◎	気象害・病虫害予想地域の把握
3. 集団選抜育種の実験的研究	◎	集団選抜育種における育種効果の推定、集団選抜育種計画の策定
個別の事業項目に対応した項目		
4. 交配材料の諸特性の解明	○	次代検定林やクローン集植所を用いて、交配材料の生長・各種抵抗性・着花性について明らかにする。
5. 交配材料の選定に関する研究	○	交配材料の諸特性を考慮し、電算機を用いて生長や複合形質を持つ組合せを決定する。
6. 交配様式に関する研究	○	育種集団林をつくるために必要な交配組合せ数及び交配型の決定
7. 着花促進技術の開発	△	植物ホルモン、環状剥皮、根切り等による着花促進技術の開発
8. 効率的な交配技術の開発	△	施設交配、ポット植え苗木を用いた交配技術の開発
9. 育苗技術の開発	△	交雑種苗技術、クローン化のためのさし木技術・組織培養技術の開発
10. 採種（總）園造成技術	△	着花促進技術、自殖防止技術、体質改善技術の開発
11. 実生採種園（林）造成技術	○	実生採種園（林）を造成するための手順の開発
12. 各種形質の遺伝率の推定	○	生長の遺伝率、各種特性の遺伝様式の解明
13. 育種集団林の設定方法	○	交配組合せ別の構成個体数、1育種集団林の構成本数、設定場所の検討
14. 2世代精英樹の選抜技術	◎	育種集団林から次世代精英樹の選定基準の検討

* ◎：積極的に技術開発等の研究活動の展開を必要とする。

○：既存データの利用、整理のほか、新しい項目の設定によって研究を進める。

△：ほぼ技術が確立しているが、樹種、技術項目によっては未開発のものである。

研究項目のうち、種苗配布区域の検討は現行の地域差検定林のデータ解析が着手されているので、暫定的であるが育種区の見直しが可能である。造林環境の要因分析は、地理的な条件と生物学的な条件に関する基礎資料の収集を行い、早急に行う必要がある。集団選抜育種の実践的な研究は、今後最も重要な課題である。この課題の研究対象として、主要な育種目標となっている形質に関する遺伝様式の解明、組合せ能力の推定、育種効果の推定等がある。

個別の事業項目に対応した研究項目は、育種集団林の設定方法の確立を主要な課題として、実生採種林(園)の造成技術の開発及び2世代精英樹の選抜技術の開発等である。他方、当プロジェクトにおいて樹種あるいは地域によっては未開発な交配技術等があることから、前項のプロジェクト成果の問題点を再検討する必要がある。

参 考 文 献

- (78) 大庭喜八郎：育種集団林について，林木の育種**111**，9～17，1979
- (79) ——：育種戦略としての交雑育種と育種集団林，林木の育種**152**，20～24，1980
- (80) 古越隆信：交雑種事業の技術開発に関する研究計画，林木の育種**117**，17～20，1980
- (81) 関東林木育種場：昭和58年度林木育種関係者研究担当官会議記録，3～28，1984
- (82) 関東林木育種場：平成元年度林木育種関係者研究担当官会議記録，45～106，1989
- (83) 池野成一郎：やなぎ属数属人工雑婚成績ノ記，植雑**30**，316～320，1916
- (84) 石原供三，松川篤治：主要林木の品種改良，第一報，一球果植物の二，三の交雑試験一，昭和14年日林講，98～102，1959
- (85) 向出弘正：育種集団をめぐって，林木の育種**111**，18～211，1979
- (86) 酒井寛一：林木育種の問題点を考える，林木の育種**117**，17～20，1987
- (87) 戸田良吉：育種集団の必要性和その種類，林木の育種**111**，1～4，1979
- (88) 山田行雄：選抜理論，林木の育種**111**，5～8，1979