

北海道育種基本区における第二期交雑育種事業化プロジェクトの実施経過

河野 耕藏⁽¹⁾・丹藤 修⁽²⁾

KOOZOO KOONO⁽¹⁾ and Osamu TANDO⁽²⁾

Progress of the Second Cross Breeding Project in Hokkaido Breeding Region

要旨：北海道育種基本区における第二期交雑育種事業化プロジェクトでは、トドマツ、アカエゾマツ、カンバ類およびナラ類の人工交配が行われた。トドマツにおいては成長性の一層の向上、成長と気象害抵抗性（耐寒性、枝枯病抵抗性）の複合化を目標に交配が行われ、85家系の種子が生産された。育種集団林造成のためこれらの種子を用いて現在苗木生産中である。

アカエゾマツについては、成長性の一層の向上、成長と材質（高容積密度数）の複合化を目標に交配が行われたが組合せ数の不揃いや生産された種子量が不十分な交配組合せが生じたため再度人工交配を計画している。播種は平成13年春の予定である。

カンバ類およびナラ類については第一期に引き続き交配技術の開発のための実験的な交配が行われた。カンバ類についてはシラカンバ、ウダイカンバおよびダケカンバ精英樹を用いた種内および種間交雑が行われ、第一期に行われた交雑の成果とあわせて基本的な交雑技術が開発された。更に第一期で得られた交雑種の調査結果から野兎鼠の被害に遭いやすいウダイカンバはダケカンバを交雑することによって野兎鼠に対する抵抗性を獲得することが示唆された。ナラ類については第一期に得た種間交雑家系について10年生の若齢個体で繁殖能力が確認された。第二期においてこの個体にカシワおよびミズナラを交雑させて後代を得、種間雑種を雌性親とする交雑が可能であることが実証された。

カラマツ類については第一期においてカラマツ、グイマツ、チョウセンカラマツの種内交雑家系、種間交配家系の集団について成長、耐鼠性、材質の調査が行われ、優良家系が創出された。

1 はじめに

北海道育種基本区において実施した第二期交雑育種事業化プロジェクトでは、トドマツ、アカエゾマツ、カンバ類およびナラ類の人工交配が行われた。改良の目標形質は、トドマツについては成長性の一層の向上および抵抗性（耐寒性、枝枯病抵抗性）の複合化を目標とした。アカエゾマツについては成長性の一層の向上および材質（高容

(1) 林木育種センター北海道育種場

〒069-0836 北海道江別市文京台緑町561

Hokkaido Regional Breeding Office, Forest Tree Breeding Center

561, Midori-machi, Bunkyo-dai, Ebetsu, Hokkaido 069-0836 Japan

(2) インドネシア林木育種計画Ⅱ

The Forest Tree Improvement Project (Phase2) in The Republic of Indonesia

FTIRDI, JL.Palagan Tentara Pelajar Km.15 Purwobinangun, Pakem, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

積密度数)複合化を目標とした。

カンバ類については、成長と抵抗性(耐野兎鼠性)家系の創出を目的に、シラカンバ、ウダイカンバ、ダケカンバの各精英樹およびヤエガワカンバを用いて交配実験を兼ねて成長と耐野兎鼠性の複合化を目標とした種内および種間交雑が行われた。これらの交配家系については種子および苗木の生産能力の検討が行われたほか試験地が設定され、成長、形態変異、耐野兎鼠性の調査が行われた。

ナラ類についてはカシワとミズナラの交配実験を行い後代を初めて得た。また、第一期で交雑したミズナラ×カシワの交雑種の一部で成長の優れた10年生の若齢個体で繁殖能力が確認され、この個体を雌性親として、ミズナラおよびカシワを交雑させて後代が得られた。

2 プロジェクトの実施経過と成果

2.1 実施経過と事業実績

第二期交雑育種事業化プロジェクトで実施された各樹種の育種目標、交配様式等の実施状況は表1に示すとおりである。

トドマツにおいては成長の一層優れた品種、成長と耐寒性および成長と枝枯病抵抗性を複合化したこれらの形質に優れた品種の創出を目的に平成5年と平成7年の両年に人工交配が行われた。交配様式は、1セット当たり雌雄それぞれ4親が関与した6セットの両面ダイアレル交配である。つまり、1セットの組合せ数は16(4×4)組合せで、6セット96家系の交配が試みられたが、実際には85家系の交配種子が生産された。これら交配家系種子は、育種集団林造成のため、現在苗木養成中である。

アカエゾマツについては成長の一層優れた品種および成長と材質(高容積密度数)を複合化しこれらの形質に優れた品種を創出することを目的にしている。交配親の選定にあたっては、樹高成長が平均以上で、容積密度数の高い精英樹クローンを選出した。交配組合せは1セット当たり雌雄それぞれ4親で、6セットを基本に両面ダイアレル交配が平成4年と平成7年の2回交配を行ったが、組合せ数の不揃いや交配種子の不足が生じているため、平成12年度に再度交配を実施する予定である。なお、播種は平成13年、集団林造成は平成18年の予定である。

カンバ類の交雑可能度の検討のための交配実験を兼ねて野兎鼠に対する抵抗性個体の創出を目的に、平成3年と4年の両年にシラカンバおよびウダイカンバを雌性親として花粉親にシラカンバ、ウダイカンバ、ダケカンバ、ヤエガワカンバの4種が用いられ、種内および種間交雑が行われた。これらの交雑家系については試験地が設定され、成長、形態変異、耐野兎鼠性の調査が行われている。

ナラ類の交雑では、これまで開花期の違いからカシワを雌性親とした交雑種は創出されていなかったが、花粉親にミズナラを用いた種間交雑で6組合せのうち4組合せに成熟堅果が生産された。また、第一期で創出されたミズナラ×カシワの交雑種の中には、10年生の若齢個体においても十分な花粉や堅果が生産された。また、このF₁個体を雌性親として花粉親にミズナラおよびカシワを用いた交雑種も創出された。

2.2 本プロジェクトにかかわる技術開発等の研究成果

第二期交雑育種事業化プロジェクトでは、トドマツ、アカエゾマツで前述の目標で集団林を造成するための交配を行ったほか、カンバ類、ナラ類では交配実験、カンバ類ではこれと兼ねて耐野兎鼠性を目標とした交配が行われ

表1. 第二期交雑育種事業化プロジェクトの実施状況

樹種	育種目標	交配年	交配組合せ数	種子生産量(g)	組合せ方法	関与親数		備考
						♀親	♂親	
トドマツ	成長×成長 成長×(耐寒性・枝枯病)抵抗性	H 5	17	222	要因交配	8	11	自然交配 8家系 89g
トドマツ	成長×成長・抵抗性(集団林設定用)	H 7	85	2,694	二面ダイアレル (4×4)×6セット	23	23	自然交配 23家系 2,756
アカエゾマツ	成長×成長・材質(集団林設定用)	H 4 H 7	90	207	二面ダイアレル (4×4)×6セット	20	20	自然交配 12家系 33g
カンバ類	組合せ効果の推定 種間交雑可能度の推定	H 3	87	407	シカンバ、ダケカンバ、ウグアイカンバ 3種の種内・種間交雑	7	30	自然交配 6家系 101g
カンバ類	同上	H 4	38	45	シカンバ、ダケカンバ、ウグアイカンバ、ヤエカワカンバ 4種の種間交雑	5	17	自然交配 4家系 13g
ナラ類	組合せ効果の推定	H 9 H 10	6 6		カシワ×ミズナラ F ₁ (カシワ×ミズナラ)×ミズナラ・カシワ	2 3	3 2	

た。これらカンバ類の交雑家系については試験地が設定され、成長、形態変異、耐野兎鼠性の調査が行われた。研究成果としては、第一期で実施された「交雑育種事業化プロジェクト」の交雑試験地設定後の10数年を経過し、これらの交雑家系においては抵抗性、材質や成長量の諸形質に関する調査が行われ、遺伝的パラメータが推定された。

トドマツの各種形質の遺伝様式を解明することを目的として、精英樹12クローンの完全ダイアレルクロスが行われた。これらの交配家系を用いてアイソザイムの遺伝様式を明らかにした。10酵素種による分析結果では少なくとも14遺伝子座については42対立遺伝子が明らかとなり、多型的遺伝子座の割合が推定された。また、自家受粉家系および自然受粉家系から形態変異苗や葉緑素変異苗が出現し、この両形質はメンデルの法則に基づく期待分離比に適合した。この形質は単一の劣性遺伝子によって支配されているものと考えられ、変異苗の出現頻度から採種園での自然自殖率が推定されている^{20) 28)}。

交配家系の苗木の成長に関する解析では、苗畑段階での苗高および検定林設定後5年生までの樹高では、特定組

合せ能力にのみに有意差が検出され、一般組合せ能力には有意差が検出されなかった。このことはこれまで、トドマツ精英樹の樹高成長には多数の遺伝子が関与し、遺伝的に遠い個体間の交配の場合には、ヘテロシス効果が働いたものと考えられていた。現行の採種園から得られる苗木にヘテロシス効果が発現されても不利なことではないが、一般組合せ能力の高いクローンが特定できないことを意味し、当該採種園の遺伝的改良を伴う上で問題が生じていた。しかし、検定林設定後10成長期の調査では、一般組合せ能力に1%水準で有意差が認められ、特定組合せ能力には有意差は認められなかった。このことは家系本来のもつ遺伝的能力が10年の歳月でやっと発揮されるようになったものと考えられ、集団選抜育種法がトドマツにとって有効な育種法であることが実証された^{27) 30)}。

なお、これらの点については、生方らが、本報において「トドマツ精英樹人工交配家系の初期成長における遺伝子パラメータの推定」で報告する。

モミ属の種間交雑については、トドマツを雌性親とし、花粉親にウラジロモミ、シラベを用いた種間交雑が行われ、その交雑種の成長、開葉期、材質（容積密度数）について特性調査が行われた。

成長は、ウラジロモミを花粉親とする交配家系で高い値を示したが、それよりも雌性親であるトドマツクローン間の差が大きかった。

開葉時期は、シラベを花粉親とした交雑家系ではトドマツ種内の交配家系よりも1週間程遅く、ウラジロモミを花粉親とした交雑家系ではさらに1～2週間遅く開葉するので、この形質は花粉親の遺伝的特性と推測される。開葉時期は耐寒性と密接に関係することから、開葉時期の遅い交雑家系は耐霜性（晩霜害）品種として期待された。

トドマツ種内および種間交雑家系の材質は、トドマツを雌性親としたウラジロモミ花粉親の交雑家系で容積密度数が高く、ついでシラベを花粉親とした交雑家系で、トドマツ種内の交配家系は最も低い値を示した。したがって、トドマツと比較してウラジロモミを花粉親とした交雑家系は成長、材質、耐霜性についてマイナスとなる要因は見あらず、種間雑種の効果が期待された^{9) 26)}。

トウヒ属の交雑については、昭和58年に行われた完全ダイアレルクロス（7×7）によるアカエゾマツ精英樹交配家系およびエゾマツ、ヨーロッパトウヒを花粉親とした交雑家系を用いて平成元年に国有林および育種場内に試験値が設定され、10成長期までの樹高成長について家系間差の検定が行われた。10成長期におけるアカエゾマツ精英樹交配家系の組合せ能力は検定されなかったが、どの花粉親に対しても樹高成長の良好な雌性親が観察されたことから、一般組合せ能力に有意差が検出される可能性が見込まれた。組合せ能力の検定を急ぐ必要がある。

また、アカエゾマツを雌性親としたヨーロッパトウヒを花粉親とする交雑組合せは種子の生産性は低いが、一旦発芽し定着すると、アカエゾマツ種内家系よりも生存率が良く、成長が旺盛でヘテロシス効果が推測され、樹高成長が旺盛であることから育苗期間や育苗年限の短縮が期待された^{24) 28)}。

なお、これらの結果については織部らが「アカエゾマツ種内交配家系およびアカエゾマツとヨーロッパトウヒとの種間交雑家系の伸長成長特性」で報告する。

カラマツ類の種間交雑F₁によるヘテロシス効果はすでに認められており、耐鼠性等の諸被害に対する抵抗性や成長形質等に優れていることはすでに知られている。しかし、交雑種の耐鼠性に関連する抽出成分の分析例はほとんどなく、また、交雑家系の材質等を調査した例も少ない。このことから、カラマツ類の種内および種間交雑家系を用いて育種効果を推定するための調査が行われた。材料はカラマツ（L）、グイマツ（G）、チョウセンカラマツ（K）の3種による10成長期を経過した種内交配家系および2種間の交雑家系が用いられた。

交雑家系の耐鼠性について、カラマツ、グイマツの種内および種間交雑家系を対象にエーテル抽出物の量的変異

から耐鼠性との関連性と検定方法が検討された。エーテル抽出量は、樹種間や交配家系間に量的な変異があり、遺伝的要因が大きく関与していることが明らかにされた。エーテル抽出量はGGに多く、LLに少ない値を示し、GLおよびLGは両者の中間よりもGGに近い値を示した。したがって、エーテル抽出量を比較することによって耐鼠性を評価することができることを示唆している^{1)~6)}。

カラマツ類交雑家系の成長と材質変異について試験地のグイマツとカラマツの種間交雑家系を主体に9年生間伐材を用い早期検定を行った。その結果、樹高、胸高直径、容積密度数および動的ヤング係数について、GLとLGそれぞれの家系間に有意差が認められた。容積密度数および動的ヤング係数は、樹高と胸高直径に比べて遺伝性が高く、育種効果が期待できることを示唆した^{8) 10)}。

広葉樹の交雑においては、針葉樹に比べて遺伝情報が極めて少ないことから、カンバ類およびナラ類について交配実験が行われた。

カンバ類の交雑可能性が検討され、昭和62・63年にシラカンバ、ダケカンバ、ウダイカンバの3種の精英樹クローンをを用いて種内および種間交雑を行い、あわせて、受粉適期の検討を行った。さらに、平成3・4年には、シラカンバおよびウダイカンバ雌性親として、花粉親にシラカンバ、ダケカンバ、ウダイカンバ、ヤエガワカンバの4種を用いた交配が行われた。

カンバ類の種内および種間交雑の種子の充実率は、種内受粉で、ウダイカンバおよびダケカンバの平均充実率は21% (17~25%)と20% (11~26%)であり、シラカンバでは僅か9% (6~12%)と最も低いこと、いずれも種内受粉の充実率は母樹の違いによって大きなバラツキが生じた。

種間受粉では、ウダイカンバ×ダケカンバで平均充実率が8%と最も高く、ダケカンバ×ウダイカンバでは平均0.2%に満たない値を示し、正逆交雑で著しく異なった。また、他の種間受粉では充実率は極めて低く、充実した種子の生産はあまり期待できないことが示唆された。

野兎鼠に対する抵抗性は、ウダイカンバの被害が高く、シラカンバおよびダケカンバでは被害が低い。ウダイカンバの種間交雑種はシラカンバ、ダケカンバと同程度の抵抗性を示し、交雑することによって抵抗性を獲得するものと推察された^{7) 11) 13)}。

なお、平成3・4年に交配された種内および種間交雑家系を用いて平成8年に試験地が設定され、樹高、胸高直径、形態変異の調査が行われた。

ナラ類の交雑では、第一期で創出された種内および種間交雑家系については、交雑種の組合せ能力、葉・堅果・花粉等の形態、アイソザイム分析による遺伝様式および交雑家系の繁殖能力等の調査が行われた。また、これまでに開花時期の違いからカシワを雌性親とした雑種が創出されていなかったが、平成9年にカシワ×ミズナラの交雑種が得られ、形質調査が行われた。また、第一期の人工交配で創出されたミズナラ×カシワの種間雑種の繁殖能力が調査され、10年生程度の若齢個体においても十分に花粉量や生産能力があること、しかも、種間交雑種は成長も旺盛であること等が観察された^{12) 14) ~19) 31) ~33)}。

なお、ミズナラ種内交配家系とミズナラ×カシワ種間交雑家系の成長と繁殖について、生方らが報告する。

2.3 今後の課題

北海道育種基本区の森林は、天然林の割合が高く、天然林施業が林業上大きなウェイトを占めている。特に近年人工造林面積が減少し、国有林、民有林ともに天然林を対象とした施業に重点が移り、天然下種更新による複層林

化にともない、遺伝育種的取組みが必要となってきた。それは森林劣化を防ぐため、精英樹間の交配家系の中から初期成長および材質に優れた次世代精英樹として選出し、より育種効果を上げながら天然林施業への取組みが必要である。一方、造林量（面積）は減少しているが、北海道における造林樹種は複合形質（成長・材質、耐鼠性）を備えたカラマツ類の品種やポプラ類等の短伐期樹種を主体とした造林が必要である。また、バイオマス生産を考慮し、二酸化炭素の吸収・固定能の高い品種を創出する必要がある。

3 研究業績

- 1) 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
- 2) 林 英司・飯塚和也・河野耕藏：グイマツ雑種F₁の樹皮におけるエーテル抽出物含有率の正規性，個体内分布及び季節変動，林木育種センター北育年報18，31～34，1997
- 3) 林 英司・飯塚和也・助野真一・河野耕藏：Relationship between Resistance to Vole Browsing and Content of Ether Extract in the Bark of Larch Species and Hybrid's 日本林学会誌，119～122，1998
- 4) 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
- 5) 飯塚和也・河野耕藏・丹藤 修：カラマツ類耐鼠性に関する研究－交配家系による耐鼠性の検討－，野鼠防除専門部会報告，167～177，1994
- 6) 飯塚和也・林 英司・板鼻直栄：カラマツ類交配家系および精英樹クローンの野鼠による室内摂食試験，林木の育種（特別号），21～22，1994
- 7) 飯塚和也・林 英司・板鼻直栄・河野耕藏：カンバ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
- 8) 飯塚和也・河野耕藏・藤本高明：幼齡のグイマツとカラマツの種間雑種の成長と材質変異，日林誌82(3)，295～300，2000
- 9) 飯塚和也・西岡利忠・河野耕藏：トドマツとウラジロモミおよびシラベの種間交雑種の容積密度と開葉時期，日林誌82(2)，196～199，2000
- 10) 飯塚和也・河野耕藏・西岡利忠：グイマツとカラマツの種間雑種における諸形質の遺伝変異，北海道の林木育種43(1)，5～7，2000
- 11) 板鼻直栄・河野耕藏・長坂寿俊・生方正俊：シラカンバ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
- 12) 河野耕藏：ナラ類の交雑親和性と堅果の発育過程，林木の育種（特別号），33～36，1990
- 13) 河野耕藏・長坂寿俊：広葉樹の交雑に関する研究－カンバ類の種内および種間交雑可能度－，北林育年報，54～56，1990
- 14) 河野耕藏・長坂寿俊・久保田権：広葉樹の交雑に関する研究－ナラ属の種内および種間交雑親和性－，北林育年報，56～57，1990
- 15) 河野耕藏・長坂寿俊：ミズナラ天然林の遺伝的変異－ミズナラ交配家系を用いたアイソザイムの遺伝様式－，北林育年報，43～45，1991
- 16) 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－，北林育年報，41～43，1991
- 17) 河野耕藏・長坂寿俊・織田春紀・栄花 茂・久保田権：ナラ類の種内交配および種間交雑における堅果生産とアイソザイムの遺伝様式，林育研報，9，1～31，1991
- 18) 河野耕藏：広葉樹の交雑育種について－ナラ類の交雑－，東北の林木育種，143，1～2，1993
- 19) 河野耕藏：ナラ類の種内交配および種間交雑について，北海道の林木育種，37，1～4，1994
- 20) 河野耕藏：カラマツ類の交雑育種に関する研究，林育センター北育年報，47～48，1994

- 21) 河野耕藏：森の木の100不思議—トドマツの変わりダネ—，日本林業技術協会，102～103，1996
- 22) 長坂寿俊・河野耕藏：トドマツ交配種子によるアイソザイムの遺伝様式，林育研報，8，169～179，1990
- 23) 長坂寿俊・河野耕藏：トドマツにおける諸形質の遺伝様式—トドマツ交配種子におけるアイソザイム遺伝様式—，北林育年報，43～45，1990
- 24) 織部雄一郎・河野耕藏：アカエゾマツの種内交配家系およびヨーロッパトウヒとの種間交雑家系の成長特性，林木の育種，29，(特) (印刷中)
- 25) 高倉康造・飯塚和也：モミ属の交雑家系の特性調査—輪生枝・節間及び頂芽伸長量・節間枝芽数—，林木育種センター北育年報，21，(印刷中)
- 26) 丹藤 修・河野耕藏・久保田正裕：アカエゾマツ種内交配及び種間交雑家系の初期成長，日林北支論，42，31～33，1994
- 27) 生方正俊・河野耕藏・奥山和彦・板鼻直栄：トドマツ精英樹交配家系の初期成長における組合せ能力の推定，日林論，104，421～422，1993
- 28) 生方正俊：トドマツの人工交配について，北海道の林木育種，36，(1)，26～30，1993
- 29) 生方正俊・河野耕藏・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
- 30) 生方正俊・河野耕藏・板鼻直栄：精英樹を用いたトドマツの組合せ能力の推定—試験地設定10年目の成長形質の解析—，日林大講要旨，108，181，1997
- 31) 生方正俊・板鼻直栄・河野耕藏：種間交雑（ミズナラ×カシワ）の繁殖能力，日本生態学会大講要旨，46，198，1999
- 32) 生方正俊・板鼻直栄・河野耕藏：ミズナラ天然林の遺伝的構造と近交弱勢による交配実態の推定，日林論，81，280～285，1999
- 33) 生方正俊・板鼻直栄・河野耕藏：ミズナラとカシワの交雑和合性および種間雑種における繁殖能力と開花時期，日林誌，81，286～290，1999