

種間雑種（アカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ）の幼齢期における諸特性

－開花、種子の稔性および材質について－

森林総合研究所 林木育種センター北海道育種場 田村明・山田浩雄・福田陽子・矢野慶介・阿部正信・竹田宣明・

大城浩司・佐々木洋一・上田雄介・織田春紀・羽原陽子 宇都宮大学 田邊純・石栗太

はじめに

北海道の主要な造林樹種であるアカエゾマツは、初期成長が遅く、国有林の人工林における下刈り期間は一般的に8年間も必要とする。そのため、初期成長の優れた造林用苗木を植栽することにより、下刈り期間を短縮することが可能となり、効果的に造林コストを削減できると考えられる。北海道の主要な造林樹種であるアカエゾマツ (*Picea glehnii*) とヨーロッパの主要造林樹種であるヨーロッパトウヒ (*Picea abies*) の雑種は、アカエゾマツに比べて初期成長が優れていることが知られている(5,6,8)。この雑種を造林することによって、コストを削減できる可能性がある。一方、温暖化の影響でヨーロッパではヨーロッパトウヒに気象害、病虫害等の被害が顕在化してきており(1)、気候変動に対応できる新しい樹種および品種の開発に強い関心が持たれている。

2008年に森林総合研究所はフィンランド森林研究所(METLA)と共同研究に関する覚書(MoU)を結んだ。現在、日本ではアカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ、フィンランドではヨーロッパトウヒ×アカエゾマツの雑種を作り、両国で初期成長や気候変動に対応する新しい品種を開発するための共同研究を行っている。

日本においてアカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ(以後、雑種と略記する)の苗木を作るための障害になっているのは、人工交配で作られた雑種の種子の発芽率の低さである(3)。発芽率が低すぎるため、事業的に雑種苗木を生

産することは実質的に不可能であると言われている。しかし、雑種の種子の稔性についての研究例(3)は少なく、未解明な部分が多い。また、雑種の材の強度がアカエゾマツと同等以上であることは分かっていたが(7)、その強度に影響する年輪構造については分かっていない。また、雑種苗木の生産・普及のためには、苗畑でのアカエゾマツ苗との簡易な分別方法を確立する必要があるが、有効な方法がない。一方、将来、雑種を造林していく場合、雑種を介してヨーロッパトウヒの遺伝子がアカエゾマツに移入し、現在ある多様なアカエゾマツの遺伝的組成や環境適応性が損なわれる恐れがある。遺伝子移入の可能性を明らかにするため、まずは雑種の開花の有無、開花した場合は、雑種とアカエゾマツの開花時期の同調性について調べる必要がある。

本報告では、開花時期および材質等に加え、雑種種子の稔性に関してフィンランド産花粉を用いた人工交配家系を育成する過程で新たな知見が得られたので報告する。また雑種苗木とアカエゾマツの簡易な分別方法について検討したので報告する。

材料と方法

1) 着花率

材料は表-1の①を用いた。2011年と2012年の6月に試験地の全個体の雄花と雌花を調査し、アカエゾマツ、雑種ごとに着花した個体の割合(着花率)を算出した。

表-1. 試験地および供試材料の概要

材料	調査箇所	設定年	樹種	調査形質	調査年(林齢)	系統・個体数	備考		
①	交雑試験地	1990年	アカエゾマツ	雄花量, 雌花量	2011年6月(22年), 2012年6月(23年)	47家系380個体	平均DBH 12.9cm		
			雑種 ^{注1)}					3家系23個体	平均DBH 15.7cm
②	交雑試験地	1990年	アカエゾマツ	雄花, 雌花の開花期間	2012年5月~6月(23年)	47家系380個体			
			雑種 ^{注1)}					3家系23個体	
			樹木園	1958年				ヨーロッパトウヒ	
③	ビニールハウス	2012年	アカエゾマツ	充実種子率, 種子重	2012年5月~6月(1年)	3家系(自然受粉)			
			雑種 ^{注2)}	充実種子率, 種子重, 種子発芽率				5家系(人工交配)	
④	ビニールハウス	2012年	アカエゾマツ	種子の発芽日, 子葉数	2012年5月~6月(1年)	12家系			
			ヨーロッパトウヒ					5家系	
			雑種 ^{注2)}					5家系	材料③と同じ
⑤	コンテナ(屋外)	2012年	アカエゾマツ	苗木の初期成長, 冬芽形成日	2012年9月(1年)	10家系	材料④の10家系を調査		
			ヨーロッパトウヒ					4家系	材料④の4家系を調査
			雑種 ^{注2)}					5家系	材料③と同じ
⑥	交雑試験地	1990年	アカエゾマツ	平均年輪幅, 平均密度, 早材幅, 晩材幅	2010年(21年)	16家系68個体	平均DBH14.0cm		
			雑種 ^{注1)}	早材密度, 晩材密度, 晩材率				2家系7個体	平均DBH17.1cm

注1) 花粉親であるヨーロッパトウヒは産地が不明。

注2) 花粉親であるヨーロッパトウヒはフィンランド産の精英樹を使用した。

Akira TAMURA, Hiroo YAMADA, Yoko FUKUDA, Keisuke YANO, Masanobu ABE, Nobuaki TAKEDA, Kouji OOKI, Youichi SASAKI, Yusuke UEDA, Haruki ORITA, Yoko Habara (Forest Tree Breeding Center Hokkaido Regional Breeding Office, Forestry and Forest Products Research Institute, 561-1 Bunkyoudai-midorimachi, Ebetsu, Hokkaido, 069-0815), Jun TANABE, Futoshi ISHIGURI (Wood Material Science, Department of Forest Science, Utsunomiya University, 350, Minemachi, Utsunomiya, Tochigi, 321-8505) Some characteristics of inter-specific hybrid between *Picea glehnii* and *P. abies* in early stage - Flowering, seed fertility and wood qualities -

2) 開花時期

材料は表-1 の②を用いた。雌花の開花期間は冬芽の鱗片がほころんで、一部の雌花が観察された時から、全ての雌花で全部の種鱗が閉じるまでとした。雄花の開花期間は、一部の雄花で鱗片葉が剥がれ始めた時から、全ての雄花で鱗片葉が開き、花粉の飛散が終了したと考えられる状態になるまでとした。

3) 種子の稔性

材料は表-1 の③を用いた。雑種の種子は人工交配で得た5家系を用いた。この人工交配は2011年5月～6月に行った。対照には人工交配の母樹として用いたアカエゾマツ3個体の自然受粉種子を用いた。2011年9月に球果を採取し、1球果当りに含まれる種子数を数えた。この中から300粒の種子を無作為に選び、エタノール(99.5%)に浸漬し、沈んだ種子を充実種子と見なし(2)、充実種子率を算出した。

雑種については2012年5月にビニールハウス内で各家系80粒の充実種子を口径24mm×深さ40mmのワンウェイ・セルトレイ((株)タキイ種苗)に播種した。同年6月に発芽数を数え、発芽率を算出した。また、エタノール選前の種子100粒当りの発芽数も算出した。

4) 種子の発芽日と子葉数

材料は表-1 の④を用いた。ビニールハウス内で2012年5月にアカエゾマツ12家系960粒、ヨーロッパトウヒ5家系238粒を前項3)と同じワンウェイ・セルトレイに播種した。なお、これらの種子は全てエタノール選後に沈んだ種子(充実種子)を用いた。雑種については、前項3)の5家系各80粒を用いた。これらの種子について播種後2,3日おきに発芽を記録し、発芽まで要した日数を算出した。また、発芽した個体の一部について、子葉数を数えた。

5) 苗木の初期成長

前項の4)で発芽した苗木について、本葉が出始めた2012年7月中旬にサイドスリットトレイ Rigi Pots IP 220 (IPL社、カナダ)に移植した。2012年9月にアカエゾマツ10家系205本、ヨーロッパトウヒ4家系130本および雑種5家系81本の苗高をmm単位で測定した(表-1の⑤)。

6) 苗木の冬芽形成日

前項の5)の苗木の頂端のシュートに形成された冬芽の形成日を調査した。なお、冬芽形成日は8月1日を起算日として2,3日おきに冬芽の形成日まで要した累積日数とした。また、冬芽形成後、再び二次成長した場合は、二次成長後の冬芽形成日を用いた。

7) 年輪構造

材料は表-1の⑥を用いた。地上高0.6mから上方に1m長の丸太を採取し、タッピング法の定法で丸太の生材ヤング係数を測定した。次に地上高0.6m部位に相当する部分から円盤を採取し、気乾近くまで乾燥させたのち、軸方向の厚み2.2mmの髓を含むストリップを作製した。作製した試験体は20℃、湿度65%の恒温恒湿室内で恒量に達するまで調湿したうえで、同室内に設置された軟エックス線撮影装置で透過像を撮影した。撮影手順は中田(4)の方法と同様である。軟エックス線照射距離は1.45m、全波整流18kV、14mA、6

分であり、使用したフィルムはフジフィルム IXFR、フィルムの現像条件は20℃、5分間である。スキャナー(Epson社製)で撮影済みフィルムをスキャンし、そのイメージデータをソフトウェア WinDENDRO (Regent Instruments INC社製)で解析し、各年輪の年輪幅、平均密度、早材幅、晩材幅、早材密度、晩材密度および晩材率を測定した。

結果と考察

1) 着花率

表-2に2011年と2012年に着花が観察された雑種とアカエゾマツの個体数を示した。2011年は全道的にアカエゾマツの豊作年に当り、当試験地においても多数のアカエゾマツで着花が観察された。雌花が着花していたのは380個体中87個体(23%)、雄花では99個体(26%)であった。一方、雑種においても着花が確認された。雌花が着花していたのは23個体中13個体(57%)、雄花では12個体(52%)であった。このことから、雑種は開花能力が十分あることが分かった。

2012年の着花は、アカエゾマツ20個体(5%)で雌花の開花が見られ、57個体(15%)で雄花が確認された。雑種では2個体(9%)で雌花が着花し、4個体(17%)で雄花が確認された。アカエゾマツの着花率が高い年は、雑種の着花率も高かったことから、アカエゾマツと雑種の豊凶は同調する可能性がある。

表-2. 各樹種における着花率

樹種	花	調査個体数	2011年	2012年
アカエゾマツ	雌花	380	87 (23)	20 (5)
	雄花	380	99 (26)	57 (15)
雑種	雌花	23	13 (57)	2 (9)
	雄花	23	12 (52)	4 (17)

()内の数値は調査個体数に占める着花した個体の割合(着花率)を示す。

2) 開花時期

表-3に2012年春のアカエゾマツ、ヨーロッパトウヒおよび雑種の雌花と雄花の時期別の開花個体数を示した。アカエゾマツは20個体で雌花が開花し、57個体で雄花が開花した。調査を開始した5月24日には、既に多くの個体(18個体)で雌花が開花していた。5月28日に全個体(20個体)で開花し、それ以降、徐々に減少し、6月6日には全ての個体で雌花の開花が終了した。雄花は5月24日に4個体で開花していた。5月28日に開花個体数が最大になり(17個体)、6月4日には全個体で開花が終了した。個体ごとに見ると雌花の開花期間が5日～12日間以上だったのに対して、多くの個体の雄花の開花期間は1日～3日だった。

ヨーロッパトウヒは3個体で雌花と雄花が開花した。5月24日には、3個体で雌花が開花していたが、既に雄花は終了していた。雑種は2個体で雌花が開花し、4個体で雄花が開花した。雑種の雌花の開花期間は、1個体は5月24日～6月1日までの9日間、別の1個体は5月24日～6月4日の12日間開花していた。雄花の開花期間は5月24日～5月28日で、各個体の開花期間は1日～3日間だった。

各樹種の開花期間の重なりを見ると、アカエゾマツ×雑種、ヨーロッパトウヒ×アカエゾマツ、ヨーロ

パトウヒ×雑種および雑種×アカエゾマツの4つの交雑が出来る可能性がある(表-3)。特にアカエゾマツの雌花と雑種の雄花の開花時期が重複したことは、自然界でヨーロッパパトウヒの遺伝子が、雑種を介してアカエゾマツに移入する可能性があることを意味する。一方、アカエゾマツ×ヨーロッパパトウヒの自然交雑の可能性については、ヨーロッパパトウヒの花粉の飛散時期が分からなかったため、明らかにすることができなかった。アカエゾマツ×ヨーロッパパトウヒの雑種 F₁ 採種園の可能性を探るため、アカエゾマツの雌花とヨーロッパパトウヒの花粉飛散時期について今後、詳細に調べていく予定である。

表-3. 2012年春の各樹種における時期別の開花個体数

樹種	花	調査個体数	着花個体数	5月				6月		
				24	26	28	30	1	4	6
アカエゾマツ	♀	380	20	18	19	20	18	16	4	0
	♂	380	57	4	10	17	10	2	0	0
ヨーロッパパトウヒ	♀	5	3	3	3	2	1	0	0	0
	♂	5	3	0	0	0	0	0	0	0
雑種	♀	23	2	2	2	2	2	2	1	0
	♂	23	4	1	2	1	0	0	0	0

3) 種子の稔性

表-4 に雑種とアカエゾマツにおける球果当りの種子数、充実種子率および種子重量を示した。球果当りの種子数は雑種とアカエゾマツ自然受粉で大きな違いは見られなかった(雑種 123 粒, アカエゾマツ 124 粒)。充実種子率はアカエゾマツの自然受粉種子と比べて雑種は低い傾向にあった。表-5 に雑種 5 家系の発芽率を示した。エタノール選後の種子の発芽率は平均 40.3% だった。ただし、家系によって違いがあり、留辺蘂 117×E1511 のように低い発芽率 (3%) を示す家系もあれば、士別 102×E253 のように高い発芽率 (70%) を示す家系も見られた。またエタノール選前の種子 100 粒当りの発芽数は平均で 10 本だった。既存の研究 (3) では、雑種の発芽率は約 2% とされていたが、今回の調査結果では、平均 10% と高く、この中でも高い発芽率を示す家系 (留辺蘂 117×E1546, 14%) も存在した。以上の結果から、雑種の発芽率は既存の報告より高く、雑種の中に高い発芽率を示す家系があることも示唆された。また雑種の種子をエタノール精選することによって、発芽率が高まり、雑種苗の生産歩留りを向上できると考えられる。

表-4. 雑種5家系とアカエゾマツ自然受粉3家系の充実種子率と種子重

家系名	球果数(個)	球果当りの種子数(粒) ^{注1)}	充実種子率(%) ^{注2)}	1000粒重(g) ^{注3)}
士別102×E253	43	135	18.6	3.7
士別102×E435	19	100	40.4	3.7
阿寒120×E253	40	82	19.6	3.6
留辺蘂117×E1511	16	141	28.3	3.6
留辺蘂117×E1546	31	157	28.4	3.9
士別102自然受粉	11	150	62.3	3.1
阿寒120自然受粉	12	120	62.8	3.3
留辺蘂117自然受粉	20	103	60.8	3.5
雑種平均値	30	123	27.0	3.7
アカエゾ自然受粉平均値	14	124	62.0	3.3

注1) 球果1個当たりから採取できたエタノール選前の種子数。
 注2) エタノール(99.5%) 選後に沈んだ種子の割合。
 注3) エタノール(99.5%) 選後に沈んだ種子1000粒当りの重量。

表-5. 雑種5家系の発芽率と100粒当りの発芽数

家系名	播種数(粒) ^{注1)}	発芽数(本)	発芽率(%)	100粒当りの発芽数(本) ^{注2)}
士別102×E253	80	56	70	13
士別102×E435	80	23	29	12
阿寒120×E253	80	41	51	10
留辺蘂117×E1511	80	2	3	1
留辺蘂117×E1546	80	39	49	14
雑種平均値	80.0	32.2	40.3	10

注1) エタノール(99.5%) 選後に沈んだ種子を播種した。
 注2) エタノール選前の種子100粒当りの発芽数

4) 種子の発芽日と子葉数

表-6 にアカエゾマツ、ヨーロッパパトウヒおよび雑種の発芽率と発芽に要した日数を示した。雑種の発芽率はアカエゾマツとほぼ同じ約 40% だった。また発芽に要した平均日数はヨーロッパパトウヒが 26 日と最も早く、雑種はアカエゾマツとほぼ同じ 29 日だった。

表-6. 各樹種における発芽に要した日数の違い

樹種	播種数 ^{注1)}	発芽数(本)	発芽率(%)	発芽に要した平均日数
アカエゾマツ	960	377	39.3	30
ヨーロッパパトウヒ	238	175	73.5	26
雑種	400	161	40.3	30

注1) エタノール(99.5%) 選後に沈んだ種子を播種した。

表-7 に樹種別の発芽後の子葉数を示した。それぞれの子葉数はヨーロッパパトウヒ 8.2 枚、アカエゾマツ 6.1 枚および雑種 6.5 枚だった。

表-7. 各樹種における子葉数の違い

樹種	調査個体数	子葉数平均値
アカエゾマツ	164	6.1 (0.9)
ヨーロッパパトウヒ	81	8.2 (1.0)
雑種	63	6.5 (0.8)

注) () 内の数値は標準偏差を示す。

5) 苗木の初期成長

表-8 に樹種別の苗高の平均値を示した。それぞれの苗高はヨーロッパパトウヒ 79mm, アカエゾマツ 49mm および雑種 45mm だった。雑種の初期成長の良さは、1年生苗ではまだ現れないことが示唆された。

表-8. 各樹種における1年生苗の苗高の違い

樹種	調査個体数	苗高の平均値(mm)
アカエゾマツ	205	49 (6.5)
ヨーロッパパトウヒ	130	79 (23.5)
雑種	81	45 (14.3)

注) () 内の数値は標準偏差を示す。

6) 苗木の冬芽形成日

表-9 にアカエゾマツ、ヨーロッパパトウヒおよび雑種の冬芽形成日の平均値を示した。雑種の冬芽形成日は両親種よりも早く形成される傾向があった。雑種苗の生産・普及のためには、苗畑でのアカエゾマツ苗との簡易な分別方法を確立する必要があるが、冬芽形成の早晚で雑種とアカエゾマツの苗木を苗畑で判別できる可能性がある。しかし、供試した雑種を作る際に用いた花粉は全てフィンランド産の精英樹である。フィンランドは全土が北緯 60 度以北に位置している。一方、今回供試したヨーロッパパトウヒは北海道に植栽されていた個体であるが、その個体の導入元は不明である。本来、両親種の間には雑種の冬芽形成時期があるはずのものが、緯度あるいは標高が異なる由来のヨーロッパ

トウヒを花粉親に供試したことで、雑種よりも冬芽形成時期が早い結果になった可能性がある。同一クローンのヨーロッパトウヒを使って雑種とヨーロッパトウヒの冬芽形成日を比較する必要がある。

表-9. 各樹種における1年生苗の冬芽形成日の違い

樹種	冬芽形成日の平均値 ^{注1)} 二次成長個体率 ^{注2)}	
	(日)	(%)
アカエゾマツ	50 (12)	4
ヨーロッパトウヒ	43 (13)	3
雑種	34 (12)	1

注1) ()内の数値は標準偏差を示す。

冬芽形成日は8月1日を起算日として冬芽が形成された日までの累積日数

注2) 二次成長個体率は、冬芽形成後、二次成長した個体数の割合を示す。

7) 年輪構造

アカエゾマツと雑種の生材丸太のヤング係数の平均値はそれぞれ 5.8GPa, 6.6GPa であった (7)。図-1 から図-7 にアカエゾマツと雑種の平均年輪幅, 平均密度, 早材密度, 晩材密度, 早材幅, 晩材幅および晩材率の放射方向の変動を示した。図-1 の平均年輪幅と図-2 の平均密度を見ると、雑種はどの年次においても総じてアカエゾマツより年輪幅が大きかったにも関わらず、雑種の方がやや高い平均密度を示していた。雑種の平均密度が高かったのは、アカエゾマツと比較して晩材率と晩材密度が高いことが要因だと考えられる (図-4 と図-7)。

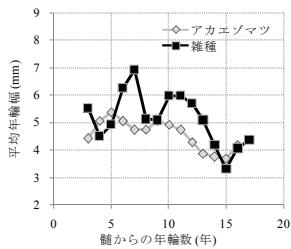


図-1. 平均年輪幅の放射方向の変動

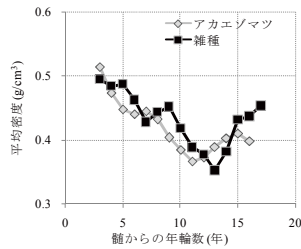


図-2. 平均密度の放射方向の変動

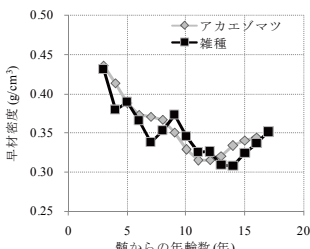


図-3. 早材密度の放射方向の変動

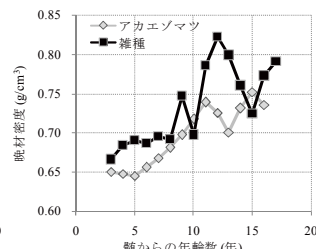


図-4. 晩材密度の放射方向の変動

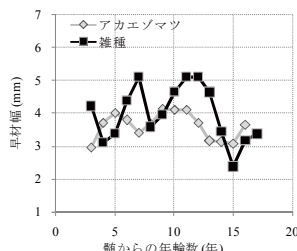


図-5. 早材幅の放射方向の変動

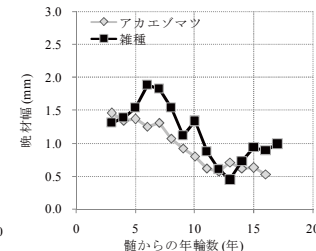


図-6. 晩材幅の放射方向の変動

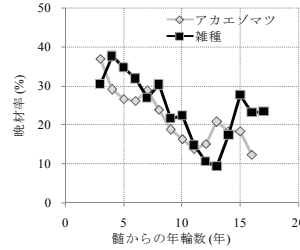


図-7. 晩材率の放射方向の変動

今後の課題

北海道で雑種の中から優良家系を選抜する場合、フィンランドの優良クローンを花粉親に用いることも重要であるが、既に北海道に植栽されているヨーロッパトウヒの産地試験地の中から北海道の気候に適応する産地・家系・個体を選抜し、これを花粉親として交雑させることも検討する必要がある。

謝辞

本研究を実行する当り、調査を補助して頂いた千野裕美子氏、田中昌子氏、三浦あけみ氏、松坂真紀子氏、竹田理恵子氏および鶴飼裕子氏に厚く感謝申し上げる。また、場内の交雑試験地の伐採搬出を行って頂いたあすなる札幌の職員の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- (1) European Forest Institute. et al. (2008) Impacts of Climate Change on European Forests and Options for Adaptation. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development, AGRI-2007-G4-06, EFI, 173pp.
- (2) 黒丸ほか (2012) エゾマツ・コンテナ苗木育成を目指した種子選別法. 日本森林学会第 123 回大会学術講演集 (Pb022)
- (3) 河野ほか (1988) アカエゾマツの種内およ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
- (4) Nakada R. et al. (1999) Soft X-ray observation of water distribution in the stem of *Cryptomeria japonica* D.Don I, Journal of Wood Science 45: 188-193.
- (5) 織部雄一朗ほか (2000) 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. 林育研報 17: 127-134
- (6) 田村明ほか (2010) 種間雑種 (アカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ) の幼齢期における諸特性. 日林北支論 59: 31-34
- (7) Tanabe J. (2012) Wood properties of 20-year-old *Picea glehnii* Mast. from 16 full-sib families, 修士論文, 64pp.
- (8) 丹藤修ほか (1994) 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 18: 31-33