

## 種間雑種（アカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ）の幼齡期における諸特性

森林総合研究所 林木育種センター北海道育種場 田村明・生方正俊・高倉康造・丹藤修・西岡直樹・飯田玲奈

### 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。造林コストの総額は、ha当たり約120万円で、下刈りに要する費用は総額の約3割に達している(3)。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。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(6,11)。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(7)、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う計画を立案中である。

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事は、雑種子の発芽率である。発芽率の平均値は約2%と低く(5)、事業的に雑種苗を生産することは実質的に不可能である。また、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。加えて、今後選抜される品種が、雑種かどうかを確認する場合に備え、雑種と両親種の特性を明らかにする必要がある。また、今まで雑種苗の初期成長が優れていることは知られていたが(6,11)、その持続性や材質については知られていない。

本報告では、雑種の生産能力と初期成長に影響する両親種の影響について検討した。また雑種の区別性、雑種の成長の持続性とその材質について新たな知見が得られたので報告する。

### 材料と方法

今回、調査した試験地、形質、調査系統・個体数および既存のデータ(6,8,11)を利用した試験地、形質、調査系統・個体数等を表-1に示した。

#### 1) 雑種の生産能力に影響する両親種の影響

1996年にアカエゾマツ精英樹5クローン、ヨーロッパトウヒ精英樹11クローンを要因交配し、53組合せについて交雑種子が得られた。高倉らは各組合せの精選種子総重量を測定し、その全量を播種した。そして、4年後の2000年に山行苗数を数えた(8)。精選種子1g当りの得苗数を算出し(材料③参照)、これをデータとして、次の一般線形混合モデルで各変数効果の分散成分の制限付き最尤推定値(以後、REML推定値と略記する)を推定した。解析には農林水産研究計算・情報センターの統計解析ソフトSASのMIXEDプロシージャ(7)を用いた。

$$y_{ijk} = \mu + f_i + m_j + \varepsilon_{ijk}$$

ここで  $y_{ijk}$  : 雌親  $i$ , 雄親  $j$  の家系における個体  $k$  の測

表-1. 試験地および供試材料の概要

材料番号	試験地	試験地設定年	樹種	調査形質	調査年(林齢)	系統・個体数	増殖法
①	江別市北海道育種場	1963年	ヨーロッパトウヒ	針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	2009年(47年)	8クローン24個体	つき木
	第一トウヒ	"	( <i>Picea.abies</i> )	球果縦径	"	"	"
	育種素材保存圃	"	"	樹高	1977年(15年),1972(10年)	8クローン	"
	"	1964-66年	アカエゾマツ	針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	2009年(44-46年)	7クローン21個体	"
	"	"	( <i>P.glehnii</i> )	球果縦径	"	"	"
②	江別市北海道育種場	1990年	<i>P.glehnii</i> × <i>P.abies</i>	樹高,胸高直径, 樹皮厚	2009年(20年)	3家系39個体	実生
	交雑試験地1	"	"	針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	"	"	"
	"	"	"	無剥皮のピロデイン貫入量(ピンφ2.5mm)	"	"	"
	"	"	<i>P.glehnii</i> × <i>P.glehnii</i>	樹高, 胸高直径, 樹皮厚	"	36家系693個体	"
	"	"	"	無剥皮のピロデイン貫入量(ピンφ2.5mm)	"	"	"
③	北海道育種場苗畑	1994年	<i>P.glehnii</i> × <i>P.abies</i>	精選種子1g当りの得苗数	2000年(播種後4年)	53家系	実生
	"	"	"	苗高	"	18家系90個体	"
	"	"	<i>P.glehnii</i>	苗高	"	2家系10個体	"
④	芦別市交雑試験地	2001年	<i>P.glehnii</i> × <i>P.abies</i>	樹高, 針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	2009年(8年)	23家系110個体	実生
	"	"	<i>P.glehnii</i>	樹高, 針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	"	2家系9個体	"
⑤	江別市北海道育種場	2001年	<i>P.glehnii</i> × <i>P.abies</i>	樹高	2009年(8年)	30家系112個体	実生
	交雑試験地2	"	"	樹高	"	2家系40個体	"
	"	"	<i>P.glehnii</i> × <i>P.abies</i>	針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	"	19家系77個体	"
"	"	"	<i>P.glehnii</i>	針葉長, 針葉断面縦径, 横径, 縦横比	"	2家系10個体	"

Akira TAMURA, Masatoshi UBUKATA, Kouzou TAKAKURA, Osamu TANDOU, Naoki NISHIOKA, Reina IIDA (Forest Tree Breeding Center Hokkaido Regional Breeding Office, Forestry and Forest Products Research Institute, 561-1 Bunkyou-dai-midorimachi, Ebetsu, Hokkaido 069-0815) Some characteristics of inter-specific hybrid between *Picea glehnii* and *P. abies* in early stage.



定値,  $\mu$ : 全平均値,  $f_i$ : 雌親  $i$  に対する変量効果,  $m_j$ : 雄親  $j$  に対する変量効果,  $\epsilon_{ijk}$ : 測定値  $y_{ijk}$  のランダム誤差。また交雑に用いた各雌親の精選種子 1g 当りの得苗数の最良線形不偏予測値 (以後, BLUP と略記する) を推定した (7)。

2) 播種 4 年後の苗高と雑種苗の区別性

高倉ら (8) は, 材料③を使い, 播種 4 年後の雑種 18 組合せについて, 1 組合せ当り 5 本無作為に選び, その苗高を測定した。同様に, 対照としてアカエゾマツ 2 家系の苗高も測定した。

3) 雑種の初期成長に影響する要因

材料③の雑種の苗木を, 芦別市 (材料④) と江別市 (材料⑤) に植栽し, 播種 13 年後 (林齢 8 年) にその樹高を測定した。なお雑種 18 家系, アカエゾマツ 2 家系が両試験地に共通で植栽されている。各個体の樹高を使って, 次の一般線形混合モデルで各変量効果の分散成分の REML 推定値を推定した。

$$y_{ijkl} = \mu + s_i + f_j + m_k + f_j * m_k + f_j * m_k * s_i + \epsilon_{ijkl}$$

ここで  $y_{ijkl}$ : 試験地  $i$  における雌親  $j$ , 雄親  $k$ , 個体  $l$  の測定値,  $\mu$ : 全平均値,  $s_i$ : 試験地  $i$  の固定効果,  $f_j$ : 雌親  $j$  に対する変量効果,  $m_k$ : 雄親  $k$  に対する変量効果,  $f_j * m_k$ : 家系  $jk$  に対する変量効果,  $f_j * m_k * s_i$ :  $i$  試験地における家系  $jk$  に対する変量効果,  $\epsilon_{ijkl}$ : 測定値  $y_{ijkl}$  のランダム誤差。

材料④と材料⑤を使って, 播種 13 年後 (林齢 8 年) の雌親の BLUP を推定した。また材料①を使って, 交雑に用いた雌親のつぎ木 10 年後および 15 年後のクローン平均値を算出した。

4) 成長の持続性

材料②を使って, 播種 25 年後 (林齢 20 年) の雑種 3 家系およびアカエゾマツ 36 家系の樹高および胸高直径の家系平均値を算出した。

5) 雑種の材質

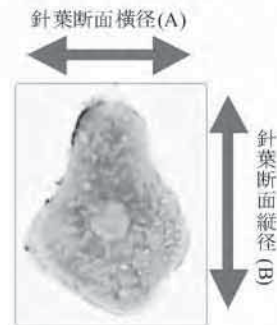
材料②を使って, 播種 25 年後 (林齢 20 年) の雑種 3 家系およびアカエゾマツ 36 家系のピロディン貫入量を測定した。ピロディン貫入量は, Pilodyn 6j Forest (PROCEQ 社製) を用い, 1 個体当り 4 箇所, 直径 2.5mm のストライカーピンを打ち込み, 0.5mm 単位でその貫入量を測定した。なお, アカエゾマツでは, 無剥皮のピロディン貫入量と容積密度の間には有意な負の相関があり, 無剥皮のピロディン貫入量が大きい程, 材の容積密度が小さい傾向がある (10)。また, 無剥皮のピロディン貫入量は, 樹皮厚によって変わる可能性があるため, ピロディン貫入した箇所の樹皮厚を, bark Gauge (Haglöf 社製) を用いて 1mm 単位で測定した。

6) 雑種の区別性

両親種は材料①, 雑種は材料②, ④および⑤から 1 個体あたり 5 本の平均的な長さをもつ針葉を採取し, デジタルノギスを使い, 針葉長を 0.1mm 単位で測定した。また, 針葉の上側に当たる部分に青色の油性ペンで印を付け, カミソリで針葉の断面を薄くスライスし, 光学顕微鏡で横断面の縦径 (A), 横径 (B), および縦横比 (A/B) を計測した (写真-1)。解析データには, 個体平均値を用いた。すなわち 5 本の針葉の平均値を用いた。

また材料②の雑種 3 家系 9 個体に合計 70 個の球果が結

実したので, これを採取し, その縦径を測定した。また, 材料①の林床に落ちていたアカエゾマツ 30 個, ヨーロッパトウヒ 35 個の球果について, その縦径を測定した。



針葉断面縦横比=A/B

写真-1 針葉の横断面の形態

結果と考察

1) 雑種の生産能力

1g 当りの得苗数について, 各分散成分の寄与率を調べた結果, 雌親の効果が 20%, 誤差 80% を占め, 雄親の効果は 0% であった。種子 1g 当りの得苗数は, 雌親クローン間で違う傾向が見られた。図-1 に, 各雌親クローンにおける 1g 当りの得苗数の BLUP 法による評価値を示した。雌親間で 1g 当りの種子粒数や受粉適期の違いもあると推定されるが, 雑種を作りやすい雌親クローンが存在する可能性が示唆された。

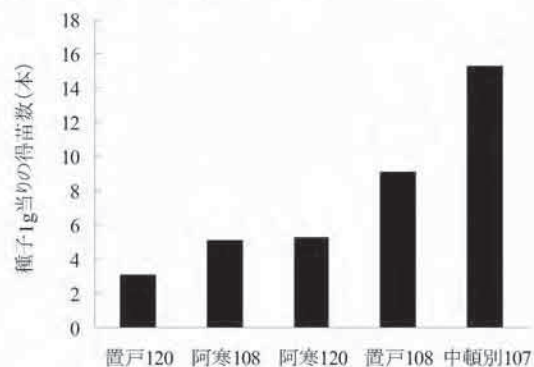


図-1 各雌親クローンにおける雑種苗の生産能力の比較

2) 播種 4 年後の苗高と雑種苗の区別性

図-2 に, 播種 4 年後の雑種およびアカエゾマツの苗高の各家系平均値を示した。雑種の多くの家系は, アカエゾマツ 2 家系よりも苗高が高かった。

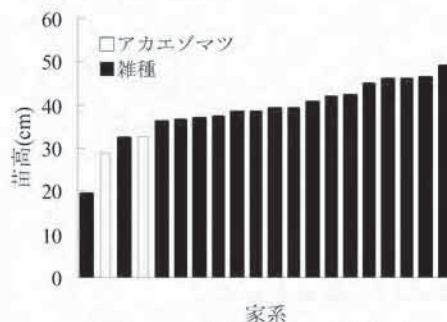


図-2 アカエゾマツと雑種の播種4年後の苗高の比較



雑種苗はアカエゾマツ苗の1.25倍大きく、雑種苗を苗高で選苗できる可能性が示された。しかし、これだけでは選苗の精度が低いため、今後は、針葉の色、枝の毛の有無、冬芽の大きさ等の形態を調査し、苗畑段階で雑種苗を簡易に精度良く選苗できる方法を確立する必要がある。

今回の結果から、アカエゾマツでは通常苗畑で6年間養苗が必要だが、雑種苗は、これより早い年数で山出しでき、育苗コストを削減できる可能性がある。

3) 雑種の初期成長に影響する要因

芦別市の試験地(材料④)では、アカエゾマツの樹高平均値2.3mに対して、雑種は4.4mと1.9倍の差が見られた。一方、江別市の試験地(材料⑤)でも、雑種の方が2.0倍大きい樹高を示した。播種後4年後よりも、13年後(林齢8年)の方が、アカエゾマツと雑種の格差が拡大する傾向が見られた。通常、アカエゾマツの下刈り期間は8年であるが、雑種はこれよりも下刈り期間を約2分の1に短縮できる可能性がある。樹高について、各分散成分の寄与率を調べた結果、雌親の効果が54%、家系×試験地の交互作用20%、誤差26%を占めた。雄親の効果および特定家系の効果は0%であった。このことから、樹高の初期成長は、雌親間で違う傾向が見られた。雑種の雌親クローンのBLUP法による予測値と、つぎ木クローン平均値の相関関係を調べた結果、10年次で+0.83、15年次で+0.89と高い相関が見られた。このことから、育種素材保存園で初期成長が優れたクローンを交配母樹に用いることで、初期成長の優れた雑種苗を生産できる可能性がある。

4) 成長の持続性

図-3と図-4に示した通り、雑種の樹高および胸高直径は、アカエゾマツより大きい傾向が見られた。ただし、アカエゾマツの中にも樹高および胸高直径の大きな家系もあった。雑種の樹高成長は、初期成長(6,11)だけでなく、播種後25年でも持続する傾向が示された。

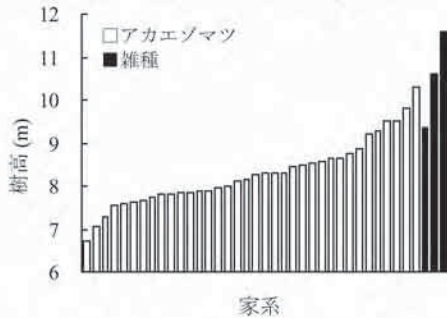


図-3. アカエゾマツと雑種の播種25年後(林齢20年)の樹高の比較

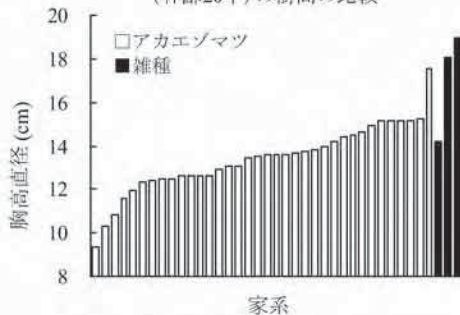


図-4. アカエゾマツと雑種の播種25年後(林齢20年)の胸高直径の比較

5) 雑種の材質

図-5に雑種およびアカエゾマツ各家系の無剥皮のピロディン貫入量を示した。雑種およびアカエゾマツの無剥皮のピロディン貫入量の全家系平均値は、それぞれ25.2mmおよび23.9mmであった。また雑種およびアカエゾマツの樹皮厚の全家系平均値は、それぞれ6.4mmおよび5.9mmであった。筆者らはアカエゾマツについて、無剥皮のピロディン貫入量と樹皮厚のデータを用いて、容積密度を推定する回帰式を作った(10)。この回帰式を使って、雑種とアカエゾマツの容積密度を推定した結果、雑種は342kg/m<sup>3</sup>、アカエゾマツは356kg/m<sup>3</sup>であった。雑種はアカエゾマツに比べてわずかではあるが、容積密度が小さい可能性があった。また図-6に雑種とアカエゾマツにおける胸高直径と推定容積密度の関係を示した。雑種はアカエゾマツと異なり、胸高直径が大きくなっても、容積密度が低下しにくい特徴が見られた。ヨーロッパトウヒの容積密度は、平均年輪幅が大きくなってもあまり低下しない特徴があることから(2)、雑種の材質には、雄親の材質が影響している可能性が示唆された。しかし、厳密には、アカエゾマツと雑種では年輪構造が異なる可能性があり、アカエゾマツで用いた容積密度の推定式が、雑種でも適用できるかどうかかわからない。今後、伐倒した上で、容積密度を調査・比較する必要がある。

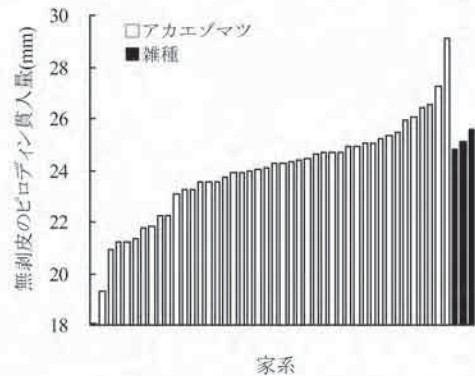


図-5. アカエゾマツと雑種の播種25年後(林齢20年)の無剥皮のピロディン貫入量の比較

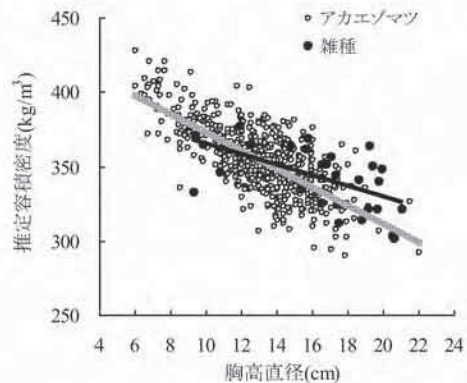


図-6. 胸高直径と容積密度の関係

6) 雑種の区別性

織部らは、雑種と両親種の針葉断面の形態を調査し、アカエゾマツでは横径が大きくて縦径が小さく、ヨーロッパトウヒでは横径が小さくて縦径が大きく、雑種の横径はアカエゾマツと同程度で縦径はヨーロッパトウヒと

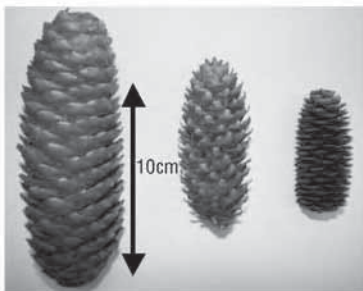


同程度だったと報告している(6)。図-7に、両親種および雑種の針葉長、針葉断面の縦径、横径および縦横比を示した。雑種の針葉長、横径および縦横比は、両親種の間からアカエゾマツに近い値を示した。雑種とヨーロッパトウヒとの区別はできそうだが、アカエゾマツとの区分は難しいことが示された。雑種の針葉断面縦径は、両親種の間に近い値を示したが、両親種のバラツキと重複するため、区分することは難しいことが示された。

球果の縦径は、雑種は両親種の間に近い値を示した(図-8)。また、雑種の種鱗の先端が、ヨーロッパトウヒのように内側に湾曲する特徴が見られた(写真-2)。

今後の課題

今後、雑種苗を生産していくためには、低い発芽率を改善していく必要がある。そのためには、効率的な人工交配技術を開発する必要がある。また、低い発芽率を補う方法として、来田らが開発した実生苗からのさし木増殖(4)が有効である。これ以外にグイマツ雑種F<sub>1</sub>のバイオニア1号で検討されている方法(9)。すなわち、中台仕立て法によるつぎ木苗からのさし木増殖の検討も必要である。この方法は1本の台木からの採穂数が大量である。加えてフィンランド産ヨーロッパトウヒの花粉を使った雑種を造林した場合の在来種や生態系への影響についても考慮する必要がある。



ヨーロッパトウヒ 雑種 アカエゾマツ  
写真-2 球果の形態

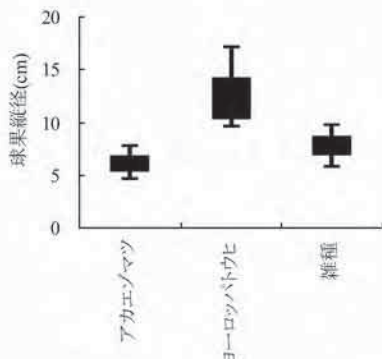


図-7. 雑種と両親種の球果縦径の比較

注) 上線(下線)は最大値(最小値)を表す。箱の上辺(底辺)は、全平均値+1標準偏差(-1標準偏差)を表す。

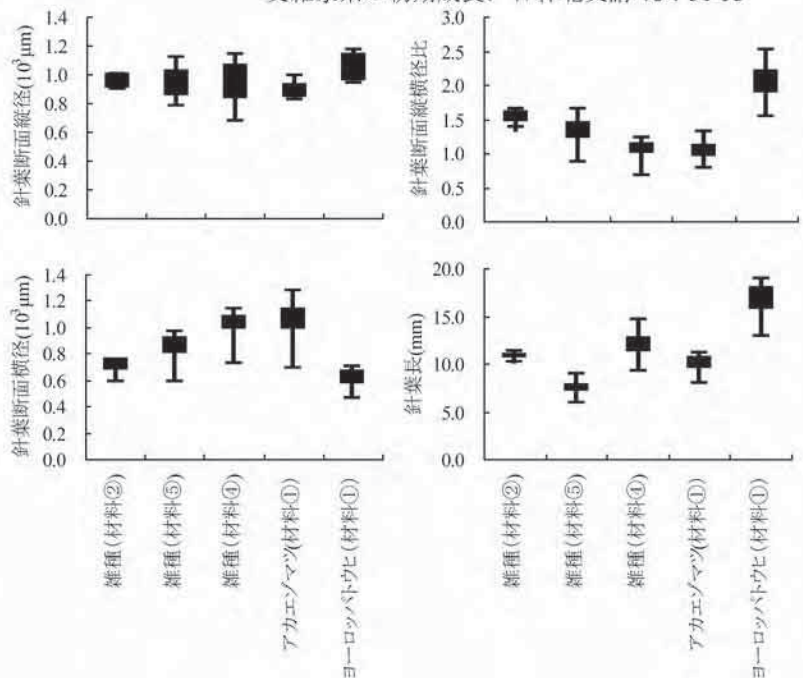


図-8. 雑種および両親種の針葉長および針葉の横断面の形態の変異

注) 上線(下線)は最大値(最小値)を表す。箱の上辺(底辺)は、全平均値+1標準偏差(-1標準偏差)を表す。

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) 深澤和三ほか(1990) 樹木の年輪が持つ情報(解析技術と林業への応用), 高速印刷センター, 札幌, 141pp.
- (3) 北海道水産林務部林務局森林整備課(2009) 平成21年度造林事業標準単価, <http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/0205.htm>
- (4) 来田和人ほか(2003) アカエゾマツ×ヨーロッパトウヒ雑種苗木のさし木増殖.日林北支論 51 : 12-14
- (5) 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
- (6) 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
- (7) SAS institute (2004) SAS/SAT user's Guide. Version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, 5121pp.
- (8) 高倉康造ほか(2002) トウヒ属種間交雑種の播種後4年目苗木長について. 北海道林木育種場年報 23 : 21-23
- (9) 高倉康造ほか(2009) グイマツ雑種F<sub>1</sub>品種(北のバイオニア1号)の樹形誘導による採穂量とさし木増殖. 北海道の林木育種 52 (1) : 28-30
- (10) 田村明ほか(2008) アカエゾマツにおける容積密度の簡易検定法の開発. 北海道の林木育種 50 (2) : 10-14
- (11) 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