

研究資料

さし木苗と実生苗を用いたグイマツ雑種F₁低密度植栽実証林の
20年生までの成長と生残

中川昌彦*・宮田理恵*・石塚 航*・来田和人*・今 博計*

Twenty years of growth and survival of low-density plantations of hybrid larch
(*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) planted using
seedlings and rooted-cuttings.

Masahiko NAKAGAWA*, Rie MIYATA*, Wataru ISHIZUKA*, Kazuhito KITA*, Hirokazu KON*

要旨

さし木苗と実生苗を用いたグイマツ雑種F₁低密度植栽実証林（道有林内5箇所6つ、植栽密度：625本/ha、1,000本/ha、1,333本/ha、苗木の種類：さし木苗、実生苗）の20年生までの成長と生残にかかる諸形質を報告する。20年生時の諸形質について全実証林の平均値を、さし木苗625本/ha区、実生苗625本/ha区、さし木苗1,000本/ha区、実生苗1,000本/ha区、さし木苗1,333本/ha区、実生苗1,333本/ha区の順に述べる。樹高については、15.1 m、15.0 m、15.9 m、14.7 m、15.9 m、14.6 mであった。植栽密度の影響はなかったが、さし木のほうが実生よりも大きかった。胸高直径については、20.2 cm、20.1 cm、19.4 cm、18.0 cm、18.4 cm、17.3 cmであった。植栽密度が小さい区画で大きく、さし木のほうが実生よりも大きかった。生存率については、40%、44%、50%、55%、46%、48%であり、さし木のほうが実生よりも低かった。収量比数については、0.27、0.31、0.47、0.51、0.57、0.54であった。625本/ha区より、1,000本/ha区と1,333本/ha区で大きかったが、苗木の種類による違いは認められなかった。実証林全体での生存率と収量比数の値は、グイマツ雑種F₁の低密度植栽が提唱された先行研究における中庸仕立て1,000本/ha植栽区の24年生までの生存率90%や、20年生時の収量比数0.7よりも大幅に低かったが、その理由について、本研究では明らかにできなかった。本研究によりクリーンラーチやグイマツ雑種F₁の植栽において生存率の低さが問題になる事例の方が多くなったことから、現時点ではグイマツ雑種F₁の低密度植栽の実現可能性は低いと考えられる。グイマツ雑種F₁の低密度植栽を道内各地で実現するためには、枯死原因の解明と、中庸仕立て1,000本/ha植栽であれば生存率が先行研究と同等の24年生時90%程度を平均的に実現できる技術開発の成功が不可欠である。

キーワード：グイマツ雑種F₁、低密度植栽、さし木苗、実生苗、生存率

はじめに

北海道の森林面積は554万 haであり、147万 haが人工林で、そのうち42万haがカラマツ類の人工林である（北海道水産林務部総務課 2024）。カラマツ類には、カラマツおよびグイマツ雑種F₁、グイマツが含まれている。カラマツはグイマツに比べて成長がよいものの、エゾヤチネズミの食害を受けやすく、また材に曲がりが発生しやすい。このことから、カラマツの造林ではある程度の本数を植栽し、間伐時に形質の悪い

ものを取り除いていく必要がある。一方でグイマツ雑種F₁は、カラマツと同じように成長が早い、カラマツよりも通直で（黒丸ら 1996）、かつ耐鼠性が高い（高橋・西口 1966）。したがってグイマツ雑種F₁は、低密度植栽により、苗木代、植栽、間伐、枝打ち等の費用を削減するのに適した樹種であると考えられる（八坂ら 1999、八坂 2000）。

また、グイマツ雑種F₁は、グイマツとカラマツの1代雑種であるため、専用の採種園でしか種子を取ることができず、苗木の需要に対して供給量が不足している。このため、グイマ

* 北海道立総合研究機構林業試験場 Forestry Research Institute, Hokkaido Research Organization, Bibai, Hokkaido 079-0198

[北海道林業試験場研究報告 第62 (2) 令和7年9月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 62 (2), September, 2025]

ツ雑種 F_1 のさし木による増殖技術が開発された(黒丸・来田 2003)。これらのことから、グイマツ雑種 F_1 は、さし木苗を増殖して苗木の供給量を増やすとともに、カラマツよりも低密度で植栽することで、より多くの造林面積をまかなっていく取り組みが望まれる。

北海道立総合研究機構森林研究本部林業試験場(旧北海道立林業試験場、以下林業試験場)では、美唄市光珠内町の実験林において、6段階の密度でグイマツ雑種 F_1 を植栽し、植栽密度試験を行ってきた(八坂ら 1999)。このうち、植栽密度500本/ha区~4,000本/ha区までについて、山田ら(2009)が下記のとおり報告している。植栽から14年目までは90%以上が生残していたが、それ以降は4,000本/ha区や2,000本/ha区で生存率が減少する傾向があった。24年生時では、2,000本/ha区で林分材積が最も高かったが、そのうち約半分は直径20 cm未満の個体で占められていた。1,000本/ha区では24年生時に生存率が約90%で収量比数が0.8となり平均胸高直径が21 cmで間伐収入が見込めると考えられたのに対し、2,000本/ha区では収量比数が0.8に達した時の平均胸高直径は13 cmで間伐収入がほとんど見込めないと考えられた。500本/ha区では、24年生時にも収量比数が0.6で、林分材積も小さく、まだ間伐時期に達していなかった。これらのことから山田(2010)は、グイマツ雑種 F_1 の植栽密度を1,000本/haとすることが経営的には有利であることを示した。また八坂ら(2013)は同じ試験地のデータを解析し、形状比80以上や収量比数0.8以上でグイマツ雑種 F_1 の枯死が多くなるとして、間伐による密度調整の目安としている。八坂ら(1999)や八坂(2000)により提案されたグイマツ雑種 F_1 の低密度植栽は実際に道内各地で実現可能か、また黒丸・来田(2003)によって技術開発されたさし木苗を用いても問題ないかについては、実証的な研究によって検証されることが望ましい。

そこで、2002年から2004年にかけて道有林内5箇所、挿し木苗および実生苗によるグイマツ雑種 F_1 低密度植栽実証林を造成し、その15年生までの成長経過と造林にかかるコスト削減の効果を検証してきた(胆振森づくりセンターほか 2004, 胆振森づくりセンターほか 2009, 胆振森林室ほか 2015, 胆振総合振興局森林室ほか 2021)。造林にかかる費用は、一般の植栽密度と比較して低密度ほど少ない結果となっており(胆振森づくりセンターほか 2004)、1,000本/ha以下の低密度植栽では6年生までに要した経費は一般的な植栽密度である1,900本/haと比較して3~4割少なかった(来田ら 2010)。一方で、生存率が低下していることは報告されてきたものの、グイマツ雑種 F_1 の低密度植栽が実現可能かについては、検討が行われてこなかった(胆振森林室ほか 2015, 胆振総合振興局森林室ほか 2021)。

近年、全国的に人工林資源が収穫適期を迎え、皆伐面積が増加することが予想され、再造林のコストを低減させるために低密度植栽の検討が各地で進んでいるが(林野庁 2022)、

グイマツ雑種 F_1 の低密度植栽実証林は、全国に先駆けた取り組みであり、すでに20年生となった。本稿では道内5箇所のグイマツ雑種 F_1 低密度植栽実証林の20年生時点での成長と生残にかかる諸形質の値を報告するとともに、実生苗と比較したさし木苗の成長と生残やグイマツ雑種 F_1 の低密度植栽の実現可能性について考察を行った。

材料と方法

1. 調査地

グイマツ雑種 F_1 の低密度植栽実証林(以下、実証林)は、2002年~2004年にかけて、津別町(以下、津別)、士別市(士別)、由仁町(由仁)、美幌町(美幌)、幕別町忠類(忠類)の道有林内5箇所に造成された(胆振森づくりセンターほか 2004, 来田ら 2010)。各実証林は、実証林が所在する道有林を管轄する森づくりセンター(当時)が主体となり、北海道水産林務部および林業試験場との共同により造成した。

実証林の概要を表-1に示す。全実証林に共通した試験設定は、苗木はさし木苗と実生苗の2種類、植栽密度が625本/ha, 1,000本/ha, 1,333本/haの3段階の計6処理である。各実証林において、1処理につきそれぞれ2つのプロットを造成したので、1つの実証林は12個のプロットからなるが、実証林によって12個のプロットの配置方法が異なる(表-1, 植栽ブロック)。士別においては、さし木苗と実生苗の2種類および3段階の植栽密度、計6処理のプロットが同所的に造成されていて、これをブロックとした。このブロックが2つあり、ブロックA, B(各、2苗木種別×3植栽密度×1反復=6プロット)とした。ブロックAでは油圧ショベルに草刈用ヘッドを装着したブラッシュカッターで、ブロックBではブルドーザーで地拵が行われた(胆振森づくりセンターほか 2009)。

津別と美幌では植栽密度ごとに、計4つのプロットが同所的に植栽され(2苗木種別×1植栽密度×2反復)、ブロックを形成している。これらをA, B, Cブロックとした。

由仁においては、さし木苗と実生苗の植栽密度625本/haと1,000本/haのプロットが全て造成されたブロック(2苗木種別×2植栽密度×2反復=8プロット)をAブロック、さし木苗と実生苗の植栽密度1,333本/haのプロットがそれぞれ1つずつ造成されたブロック(2苗木種別×1植栽密度×1反復=2プロット)を、BブロックとCブロックとした。

忠類においては、さし木苗と実生苗の植栽密度625本/haと1,000本/haのプロットがそれぞれ1つずつ造成されたブロック(2苗木種別×2植栽密度×1反復=4プロット)をAブロックとBブロックとし、さし木苗と実生苗の植栽密度1,333本/haのプロットすべてが造成されたブロック(2苗木種別×1植栽密度×2反復=4プロット)をCブロックとした。なお忠類では、実証林の造成と同じ年に実証林の区域外にグイマツ雑種 F_1 が1,750本/haで植栽されており、この区画を対照区として調査している(来田ら 2010)。試験区と対照区で苗木

表-1 実証林の概要と調査対象本数

実証林	造成年	苗木の種類	系統*	面積 (ha)	植栽密度 (本/ha)	植栽ブロック	調査母数			
							5年生	10年生	15年生	20年生
津別	2002	さし木	F ₁	0.80	625	Aブロック	218	218	218	218
		実生	F ₁	0.80	625	Aブロック	297	297	297	297
		さし木	F ₁	0.80	1,000	Bブロック	550	550	550	550
		実生	F ₁	0.80	1,000	Bブロック	419	419	419	419
		さし木	F ₁	0.80	1,333	Cブロック	592	592	592	592
		実生	F ₁	0.80	1,333	Cブロック	603	603	603	603
士別 ブラッ シュ カッ ター 地拵	2003	さし木	F ₁	0.35	625	Aブロック	120	240	240	240
		実生	CL	0.32	625	Aブロック	125	125	125	125
		さし木	F ₁	0.32	1,000	Aブロック	175	87	175	175
		実生	CL	0.36	1,000	Aブロック	176	176	176	176
		さし木	F ₁	0.34	1,333	Aブロック	237	237	237	237
		実生	CL	0.37	1,333	Aブロック	220	132	220	220
士別 ブル ドーザ 地拵		さし木	F ₁	0.34	625	Bブロック	136	68	136	136
		実生	CL	0.36	625	Bブロック	136	136	136	136
		さし木	F ₁	0.38	1,000	Bブロック	216	108	216	216
		実生	CL	0.39	1,000	Bブロック	216	108	216	216
		さし木	F ₁	0.34	1,333	Bブロック	251	251	251	251
		実生	CL	0.34	1,333	Bブロック	255	128	255	255
由仁	2004	さし木	CL	0.42	625	Aブロック	226	226	226	226
		実生	CL	0.42	625	Aブロック	225	225	225	225
		さし木	CL	0.42	1,000	Aブロック	351	351	351	351
		実生	CL	0.55	1,000	Aブロック	470	470	470	470
		さし木	CL	0.38	1,333	B, Cブロック	416	416	416	416
		実生	CL	0.37	1,333	B, Cブロック	426	426	426	426
美幌	2004	さし木	CL	0.40	625	Aブロック	240	240	240	240
		実生	CL	0.40	625	Aブロック	240	240	240	240
		さし木	CL	0.40	1,000	Bブロック	400	400	400	400
		実生	CL	0.40	1,000	Bブロック	400	400	400	400
		さし木	CL	0.40	1,333	Cブロック	520	520	520	520
		実生	CL	0.40	1,333	Cブロック	520	520	520	520
忠類	2004	さし木	CL	0.40	625	A, Bブロック	240	240	240	240
		実生	CL	0.40	625	A, Bブロック	240	240	240	240
		さし木	CL	0.40	1,000	A, Bブロック	384	384	384	384
		実生	CL	0.40	1,000	A, Bブロック	384	384	384	384
		さし木	CL	0.40	1,333	Cブロック	512	512	512	512
		実生	CL	0.40	1,333	Cブロック	512	512	512	512
対照区	2004	実生	F ₁	0.06	1,750	実証林外	108	108	108	108

*系統のF₁とはグイマツ雑種F₁, CLとはクリーンラーチである。

の系統が異なるので(表-1),本研究においてはこの区画を参考として示すにとどめた。

士別では, AブロックとBブロックで地拵え方法が異なるので, 本稿ではA,Bブロックをそれぞれ1つの実証林として取り扱った。すなわち, 士別は士別ブラッシュカッター地拵, および士別ブルドーザ地拵の2つの実証林からなることとした。それぞれ, プロット1つが解析単位となる。一方, 他の4つの実証林では, 植栽密度と苗木の種類が同じ2つのプロットを合わせて1つの解析単位とした。これらのことから実証林の解析単位数は6となった(表-1)。

6年生までの施業内容は来田ら(2010)に, また15年生までは胆振総合振興局森林室ほか(2021)に示されている。表-2にその概略を示す。

2. 毎木調査およびデータ整理

調査は, 5, 10, 15, 20年生の秋に実施した。樹高と生死を記録し, 10年生以降は胸高直径も調査した。また, 本報告での解析には用いていないが, 植栽時および1, 2, 3年生の秋にも調査を実施している。原則として由仁, 美幌, 忠類では全植栽木を対象に, 津別と士別ブラッシュカッター地拵, および士別ブルドーザ地拵では各プロットの面積の半分を対象に調査を行った。ただし, 生存本数が極端に少なくなった

士別ブラッシュカッター地拵のさし木苗625本/ha植栽プロットでは, 10年生以降はプロット全体を調査対象とした。士別ブラッシュカッター地拵, および士別ブルドーザ地拵ではこの他, 調査時間の制約から調査時期によって調査母数が異なる場合がある。調査対象本数を表-1に示す。なお, 植栽木以外の侵入木については調査をしていない。

枯死原因がわかるものは記載し, 折損や獣害, つるの絡まりなど気づいたことを記録した。なお, 美幌での10年生時の調査ではこれらの記載をしなかった。

植栽5, 10, 15年後の苗木の種類別・植栽密度別の平均樹高, 平均胸高直径, 生存率, 本数密度については, 胆振森づくりセンターほか(2009), 胆振森林室ほか(2015), 胆振総合振興局森林室ほか(2021)で既に公表されている。

3. 解析方法

前述のとおり(セクション1. 調査地), 津別, 由仁, 美幌, 忠類では, 苗木の種類別・植栽密度別に2つのプロットを併せて1つの解析単位とした。また士別ブラッシュカッター地拵, および士別ブルドーザ地拵では, プロット1つが解析単位である。このため, 解析単位数は, 5箇所6つの実証林すべてで6である(表-1)。

20年生時の苗木の種類別・植栽密度別の生存率(%), 本数

表-2 実証林の造成から林齢20年までの施業

実証林	施業種	地拵	下刈	殺鼠剤散布	侵入木の除伐	植栽木の除間伐
津別	1	筋刈り	1年目・筋刈り2回 2~4年目・全刈り2回	1~4年目・地上1回 5年目・空中2回	なし	なし
	2	筋刈り	1~4年目・筋刈り2回	1~4年目・地上1回 5年目・空中2回	6年目	なし
士別ブラッシュカッター地拵	1	ブラッシュ カッター 枝状粉碎	1年目・全刈り1回 2~4年目・全刈り2回 5年目・全刈り1回	1~5年目・地上1回	なし	なし
士別ブルドーザ地拵	2	ブルドーザ 全押し	1年目・全刈り1回 2,3年目・全刈り2回 4年目・全刈り1回	1~4年目・地上1回	なし	なし
由仁		筋刈り	1~3年目・筋刈り1回	1~4,6,7年目・ 地上1回	6年目	なし
美幌		ブルドーザ 全押し	1,3,4年目・全刈り1回 2年目・全刈り2回	1,2年目・地上1回 3年目・空中2回 4年目・空中1回 8年目・空中1回	なし	なし
	忠類	全刈り	1~4年目・全刈り1回	1~9年目・空中1回	なし	なし
対照区	全刈り		1~4年目・全刈り1回	1~9年目・空中1回	なし	なし

来田ら(2010) および胆振総合振興局森林室ほか(2021)より作成した。同じ実証林内で施業種が2つある場合は, 植栽密度と苗木の種類が同じ2つのプロットそれぞれで異なる施業がされたことを意味する。

密度 (本/ha), 平均樹高 (m), 平均胸高直径 (cm), 平均形状比, 林分材積 (m^3/ha), 収量比数, 収量比数が0.7となる林齢について, 解析単位ごとに値を算出した。形状比は各測定木の樹高 (m) を胸高直径 (m) で割って算出した。林分材積と収量比数, 収量比数が0.7となる林齢について, グイマツ雑種Fはカラマツ収穫予測ソフトver3.12 (北海道立総合研究機構林業試験場 2016) により, またクリーンラーチについてはクリーンラーチ収穫予測ソフトver1.0 (北海道立総合研究機構林業試験場 2023) により算出した。なお, クリーンラーチ収穫予測ソフトでは林齢40年までの予測しかできないため, 収量比数が40年生でも0.7に満たない場合の収量比数が0.7となる林齢は「41年以上」または「>40」とした。

6つの実証林全体の苗木の種類別・植栽密度別の平均値は, 生存率, 本数密度, 樹高, 胸高直径および形状比については, 平均の平均, つまり6つの実証林での値を足して6で除して求めた。実証林のうちグイマツ雑種Fが植えられている箇所は少なく, 大部分にはクリーンラーチが植栽されていた。そのため, 林分材積, 収量比数, 収量比数が0.7となる林齢の平均値については, 実証林全体の苗木の種類別・植栽密度別の調査結果全てをクリーンラーチ収穫予測ソフトver1.0に入力して求めた。

6実証林すべての20年生時のデータを対象に, 生存率, 本数密度, 樹高, 胸高直径, 形状比, 林分材積, および収量比数それぞれについて, 実証林, 植栽密度, 苗木の種類を説明変数とする一般化線形モデル (以下, GLM) によってモデル化し, 全ての変数を含むモデルとAIC (Akaike's Information Criterion) が最小となるベストモデルを作成した。その後, 全ての変数を含むモデルとベストモデルについて, 説明変数ごとに多重比較 (Hothorn et al. 2008) を行った。応答変数の確率分布は, 生存率以外は正規分布とし, 生存率については各植栽木の生死を二項分布とした。統計解析はR4.4.1 (R Core Team 2024) を用いて行い, 有意水準は0.05とした。

結果

20年生時の林分状況を表-3に示す。また以下に各解析項目の結果を示す。

1. 生存率と本数密度

5箇所6つの全実証林を平均した苗木の種類別・植栽密度別の生存率の推移と, 各実証林における苗木の種類別・植栽密度別の生存率の推移を図-1に示す。20年生時の生存率を応答変数としたGLMでは, 実証林, 植栽密度, 苗木の種類を全て含むモデルがベストモデルとなった (表-4)。由仁と士別ブルドーザ地拵で他の実証林よりも生存率が高く, 士別ブラッシュカッター地拵で最も低かった。20年生時の生存率は1,000本/ha区で一番大きく, 1,333本/ha区, 625本/ha区の順に小さくなった。さし木に比べ実生の生存率が高かった。

全実証林を平均した苗木の種類別・植栽密度別の本数密度の推移と, 各実証林における苗木の種類別・植栽密度別の本数密度の推移を図-2に示す。20年生時の本数密度を応答変数とするGLMでは, 実証林, 植栽密度, 苗木の種類を全て含むモデルがベストモデルとなったが, 多重比較では苗木の種類による違いはなかった (表-5)。また, 由仁と士別ブルドーザ地拵で美幌よりも本数密度が高く, 士別ブラッシュカッター地拵で他の実証林や士別ブルドーザ地拵よりも低かった。本数密度は1,333本/ha区で一番大きく, 1,000本/ha区, 625本/ha区の順に小さくなった。さし木と実生の間に違いは認められなかった。

実証林全体では, 植栽から10年間で生存率や本数密度の低下が特に大きかったが, 10年生以降は, 生存率や本数密度の低下は緩やかになった。5年生以降の枯死原因は, ほとんどが不明であった。10年生以降は, 1,000本/ha区と1,333本/ha区の本数密度が同じくらいになった。個別の実証林で全実証林の平均と特に異なったのは, 由仁の1,000本/ha区と1,333本/ha区の実生区や士別ブルドーザ地拵であり, 生存率や本数密度の低下が小さい傾向があった。また士別ブラッシュカッター地拵で生存率や本数密度の低下が特に大きかった。士別ブルドーザ地拵では, 多くのプロットで10~15年生にかけても生存率や本数密度の大きな低下が見られた。

忠類の対照区 (1,750本植栽) では10年生以降の生存率が低く, 20年生時の本数密度は同地域の低密度実証林におけるさし木や実生の1,333本/ha区よりも低く, 1,000本/ha区と同じ程度にまで低下した (図-2)。

2. 樹高

全実証林を平均した苗木の種類別・植栽密度別の平均樹高の推移と, 各実証林における苗木の種類別・植栽密度別の樹高の推移を図-3に示す。平均樹高を応答変数としたGLMでは, 実証林, 苗木の種類を含むモデルがベストモデルとなった (表-6)。由仁では他のどの実証林よりも平均樹高が高く, 忠類で他の実証林よりも低かった (表-6)。士別ブラッシュカッター地拵では士別ブルドーザ地拵より低かった。さし木の平均樹高は実生より大きかった。植栽密度はモデルに選択されなかった。

3. 胸高直径

全実証林を平均した苗木の種類別・植栽密度別の平均胸高直径の推移と, 各実証林における苗木の種類別・植栽密度別の胸高直径の推移を図-4に示す。20年生時の平均胸高直径を応答変数としたGLMでは, 実証林, 植栽密度, 苗木の種類を全て含むモデルがベストモデルとなったが, 多重比較では士別における地拵方法による違いはなかった (表-7)。由仁と士別ブラッシュカッター地拵および士別ブルドーザ地拵で他の実証林よりも直径が大きく, 美幌では他の実証林よりも

表-3 植栽20年後の実証林の林分状況

調査地	苗木の種類	系統*	植栽密度 (本/ha)	生存率 (%)	密度 (本/ha)	平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	平均形状比	林分材積 (m ³ /ha)	収量比数	Ry=0.7 となる林齢
6 実証林**	さし木	—	625	40.2	230	15.1	20.2	76	67	0.27	>40
	実生	—	625	43.8	280	15.0	20.1	76	72	0.31	>40
	さし木	—	1,000	49.6	460	15.9	19.4	84	111	0.47	38
	実生	—	1,000	54.7	560	14.7	18.0	84	116	0.51	33
	さし木	—	1,333	45.9	630	15.9	18.4	87	138	0.57	28
	実生	—	1,333	48.3	630	14.6	17.3	86	121	0.54	30
津別	さし木	F ₁	625	63.8	399	15.5	20.9	76	110	0.44	39
	実生	F ₁	625	39.1	246	13.9	19.1	74	55	0.25	>40
	さし木	F ₁	1,000	40.9	409	14.4	16.3	95	67	0.35	>40
	実生	F ₁	1,000	51.3	513	15.8	18.0	92	115	0.49	34
	さし木	F ₁	1,333	55.4	740	16.3	19.1	87	141	0.61	26
	実生	F ₁	1,333	38.3	513	13.9	17.9	80	103	0.47	36
士別 ブラッ シュ カッター 地拵	さし木	F ₁	625	6.7	42	13.2	18.6	72	8	0.03	>40
	実生	CL	625	16.0	100	12.3	18.9	65	19	0.09	>40
	さし木	F ₁	1,000	18.3	183	14.0	20.3	70	43	0.19	>40
	実生	CL	1,000	29.0	290	13.9	19.6	72	64	0.30	>40
	さし木	F ₁	1,333	24.9	332	14.7	20.1	75	81	0.35	>40
	実生	CL	1,333	39.1	521	14.9	19.3	79	122	0.51	33
士別 ブル ドーザ 地拵	さし木	F ₁	625	45.6	285	15.0	21.0	74	77	0.32	>40
	実生	CL	625	65.4	409	15.6	21.9	72	119	0.46	39
	さし木	F ₁	1,000	66.2	662	15.6	20.2	79	167	0.63	24
	実生	CL	1,000	73.6	736	14.9	20.4	74	182	0.67	22
	さし木	F ₁	1,333	55.0	728	16.3	19.5	86	183	0.67	22
	実生	CL	1,333	52.5	700	15.9	19.2	84	166	0.64	23
由仁	さし木	CL	625	51.8	324	17.8	23.8	76	123	0.43	>40
	実生	CL	625	55.1	344	18.4	23.5	79	137	0.46	40
	さし木	CL	1,000	51.0	510	18.4	21.9	85	171	0.58	27
	実生	CL	1,000	77.0	770	14.9	17.8	86	178	0.67	22
	さし木	CL	1,333	45.2	602	16.4	17.8	93	132	0.55	29
	実生	CL	1,333	73.0	970	14.4	15.6	95	183	0.73	<20
美幌	さし木	CL	625	31.3	195	13.0	15.4	87	26	0.15	>40
	実生	CL	625	47.5	297	13.9	16.0	90	47	0.25	>40
	さし木	CL	1,000	48.3	483	16.3	18.6	89	107	0.47	35
	実生	CL	1,000	49.3	493	15.8	17.3	94	109	0.48	37
	さし木	CL	1,333	37.3	497	16.0	17.3	93	103	0.47	36
	実生	CL	1,333	41.3	551	15.6	16.8	95	109	0.50	34
忠類	さし木	CL	625	26.3	174	14.5	20.3	71	42	0.19	>40
	実生	CL	625	37.1	245	14.0	20.4	67	58	0.26	>40
	さし木	CL	1,000	48.7	487	15.3	19.9	77	122	0.50	33
	実生	CL	1,000	42.2	422	12.3	16.4	77	62	0.34	>40
	さし木	CL	1,333	51.4	745	14.9	17.8	84	140	0.61	25
	実生	CL	1,333	42.8	581	13.6	17.1	81	102	0.49	33
対照区	実生	F ₁	1,750	28.3	495	11.3	16.5	69	65	0.38	>40

*系統のF₁とはグイマツ雑種F₁, CLとはクリーンラーチである。**平均樹高, 平均直径, 平均形状比は6実証林の平均を平均し, 生存率は6実証林の値を平均し, 密度, 林分材積, 収量比数, Ry=0.7となる林齢は植栽密度別苗木の種類別に全実証林を統合して求めた。

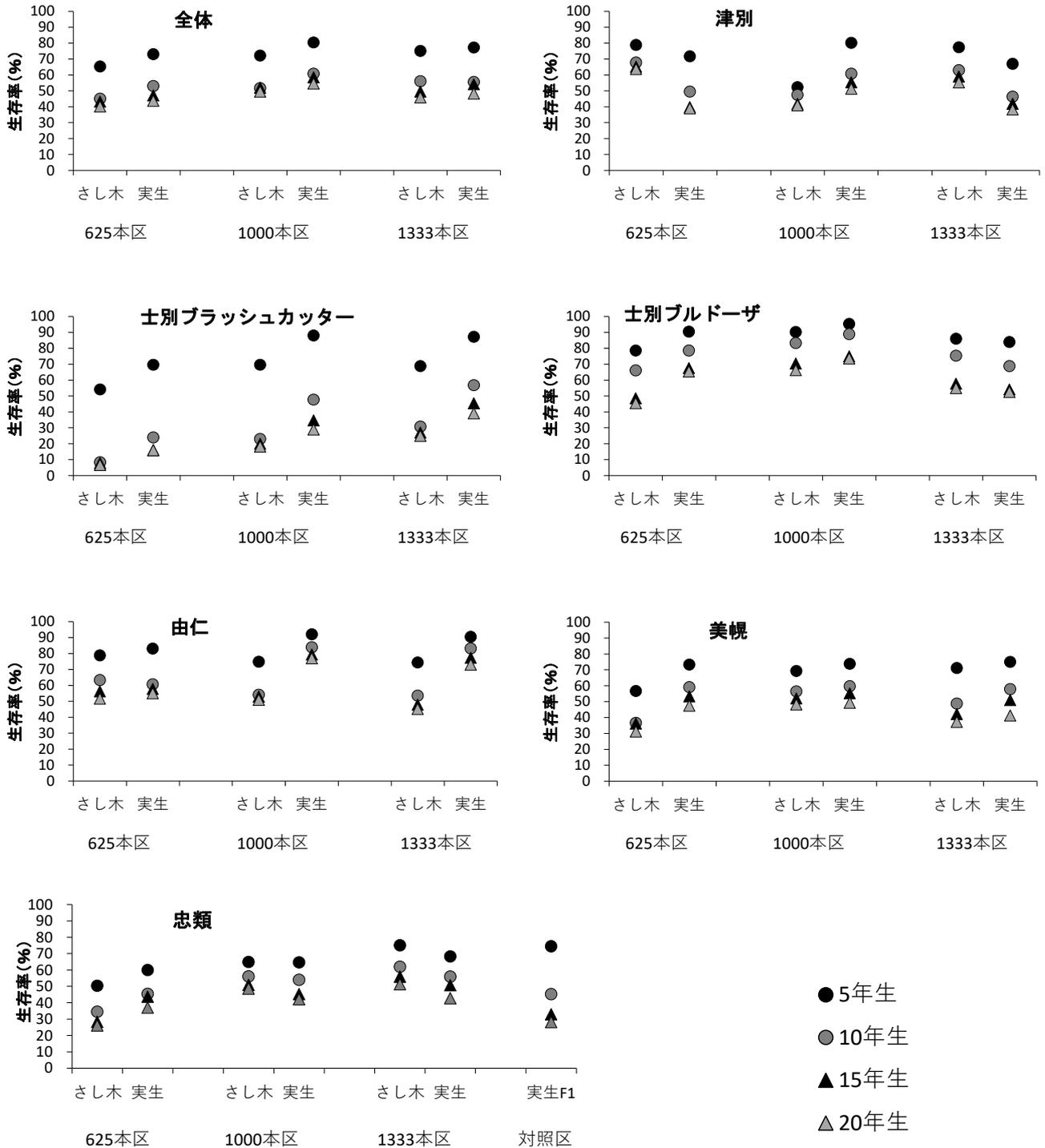


図-1 苗木の種類別・植栽密度別の生存率の推移

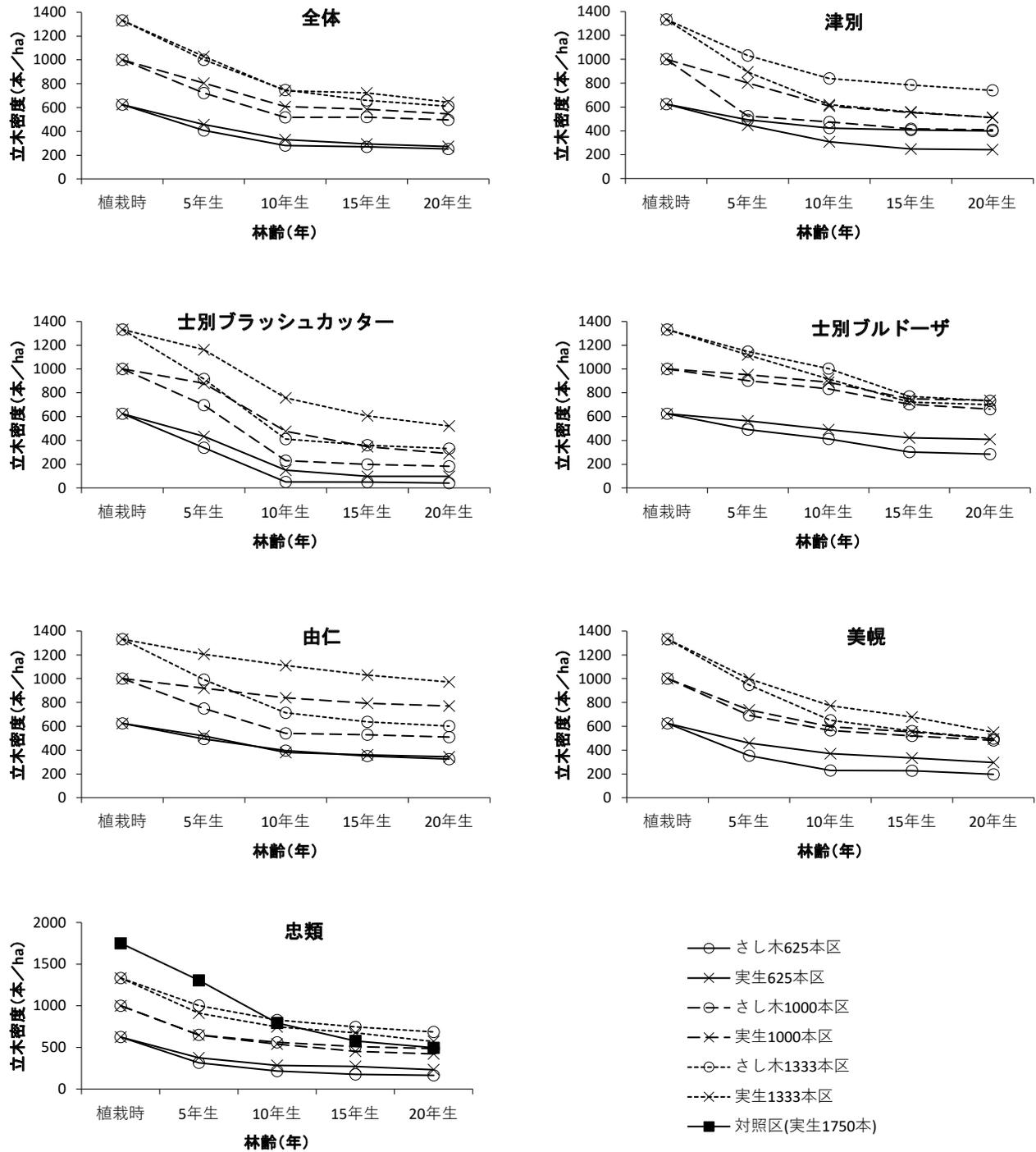


図-2 苗木の種類別・植栽密度別の本数密度の推移

表-4 一般化線形モデルを用いた20年生時の生存率への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル		
	係数	標準誤差	
切片	0.353	0.014	
実証林 (美幌を0とする)			
美幌	0.000		a
忠類	0.023	0.014	ab
士別ブラッシュカッター	-0.183	0.018	c
士別ブルドーザ	0.173	0.017	d
津別	0.040	0.014	b
由仁	0.178	0.015	d

植栽密度 (625本/ha区を0とする)			
625本/ha区	0.000		a
1,000本/ha区	0.085	0.012	b
1,333本/ha区	0.057	0.012	c

苗木の種類 (さし木を0とする)			
さし木	0.000		a
実生	0.037	0.009	b
AIC	16416		

AICによるモデル選択を行った結果, 全ての変数を含むモデルがベストモデルであった。各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは, 多重比較で有意差が認められたものである。

表-5 一般化線形モデルを用いた20年生時の本数密度への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル		
	係数	標準誤差	有意差
切片	190.940	47.590	
実証林 (美幌を0とする)			
美幌	0.000		a
忠類	23.000	54.950	ab
士別ブラッシュカッター	-174.670	54.950	c
士別ブルドーザ	167.330	54.950	b
津別	50.670	54.950	ab
由仁	167.330	54.950	b

植栽密度(625本/ha区を0とする)			
625本/ha区	0.000		a
1,000本/ha区	241.500	38.860	b
1,333本/ha区	368.330	38.860	c

苗木の種類 (さし木を0とする)			
さし木	0.000		a
実生	50.220	31.730	a
AIC	439.82		

AICによるモデル選択を行った結果, 全ての変数を含むモデルがベストモデルであった。各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは, 多重比較で有意差が認められたものである。

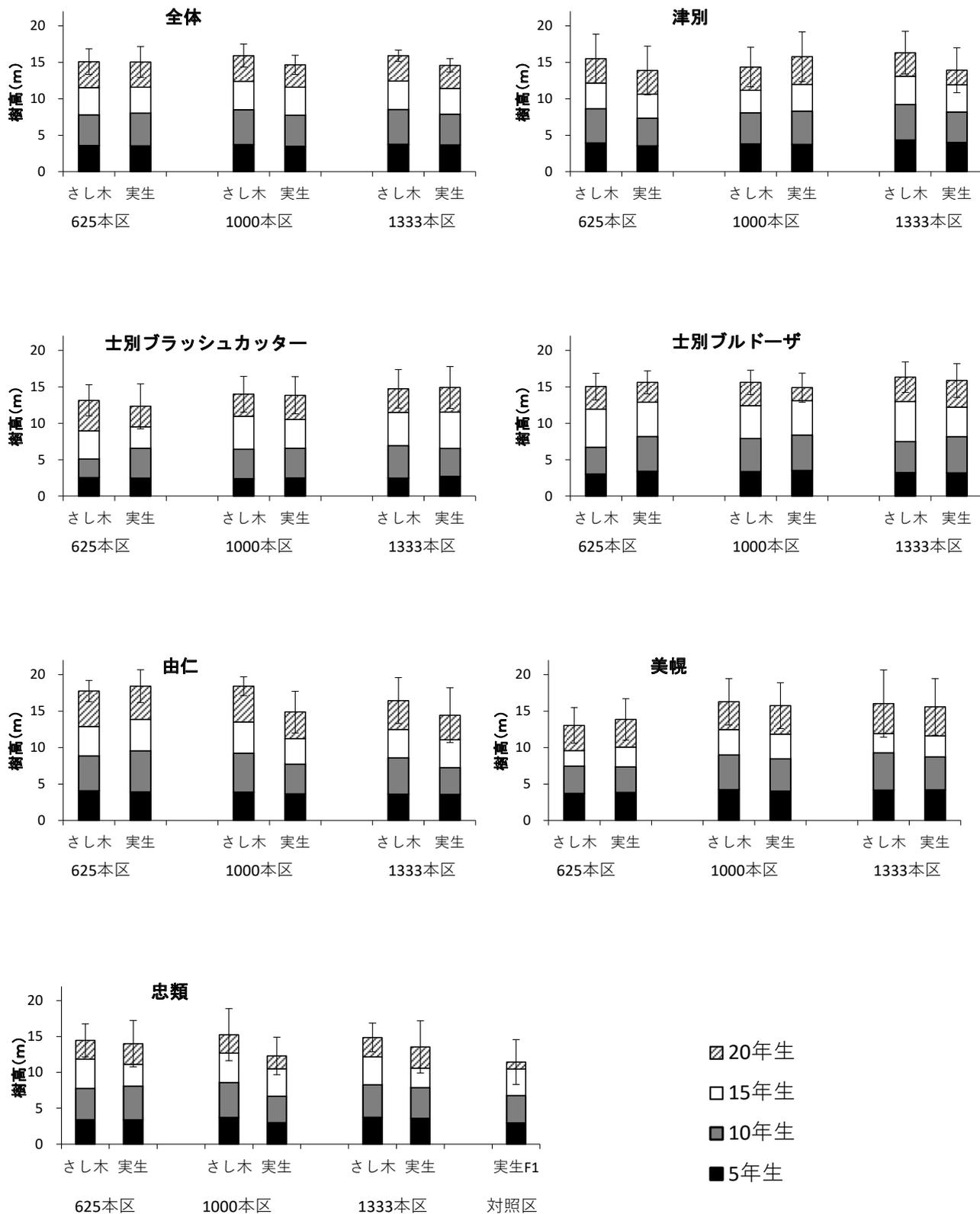


図-3 苗木の種類別・植栽密度別の樹高の推移
エラーバーは20年生時の標準偏差である。

表-6 一般化線形モデルを用いた20年生時の樹高への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル			全ての変数を含むモデル		
	係数	標準誤差	有意差	係数	標準誤差	有意差
切片	16.070	0.109		16.045	0.140	
実証林 (美幌を0とする)						
美幌	0.000		a	0.000		a
忠類	-1.396	0.141	b	-1.399	0.141	b
士別ブラッシュカッター	-1.134	0.216	b	-1.140	0.216	b
士別ブルドーザ	0.121	0.152	a	0.123	0.152	a
津別	-0.435	0.133	c	-0.436	0.133	c
由仁	0.753	0.132	d	0.754	0.132	d
植栽密度 (625本/ha区を0とする)						
625本/ha区	—			0.000		a
1,000本/ha区	—			0.011	0.119	a
1,333本/ha区	—			0.048	0.117	a
苗木の種類 (さし木を0とする)						
さし木	0.000		a	0.000		a
実生	-1.147	0.085	b	-1.146	0.085	b
AIC	28067			28071		

各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは、多重比較で有意差が認められたものである。

表-7 一般化線形モデルを用いた20年生時の胸高直径への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル		
	係数	標準誤差	
切片	19.525	0.196	
実証林 (美幌を0とする)			
美幌	0.000		a
忠類	1.087	0.195	b
士別ブラッシュカッター	2.683	0.303	cd
士別ブルドーザ	2.995	0.214	c
津別	1.131	0.186	b
由仁	1.877	0.185	d
植栽密度 (625本/ha区を0とする)			
625本/ha区	0.000		a
1,000本/ha区	-1.781	0.166	b
1,333本/ha区	-2.538	0.163	c
苗木の種類 (さし木を0とする)			
さし木	0.000		a
実生	-1.145	0.119	b
AIC	32011		

AICによるモデル選択を行った結果、全ての変数を含むモデルがベストモデルであった。各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは、多重比較で有意差が認められたものである。

小さかった。625本/ha区で直径が一番大きく、1,000本/ha区、1,333本/ha区の順に小さくなった。さし木のほうが実生よりも大きかった。

4. 形状比

20年生時の形状比を応答変数としたGLMでは、実証林、植栽密度を含むモデルがベストモデルとなり、苗木の種類はモデルに選択されなかった(表-8)。多重比較では美幌で他の実証林よりも形状比が大きく、次いで由仁、津別、士別ブルドーザ地拵と忠類であり、士別ブラッシュカッター地拵でもっとも小さかった。植栽密度が大きい区画で形状比が大きかった。

5. 林分材積と収量比数

20年生時の林分材積を応答変数としたGLMでは、実証林、植栽密度を全て含むモデルがベストモデルとなり、苗木の種類は選択されなかった(表-9)。多重比較では由仁や士別ブルドーザ地拵で他の実証林よりも大きく、士別ブラッシュカッター地拵でもっとも小さかった。1,000本/ha区や1,333本/ha区で625本/ha区よりも林分材積が大きかったが、1,000本/ha区と1,333本/ha区の違いはなかった。

20年生時の収量比数を応答変数としたGLMでは、実証林、植栽密度を含むモデルがベストモデルとなり、苗木の種類は選択されなかった(表-10)。多重比較では由仁や士別ブルドーザ地拵で他の実証林よりも大きく、士別ブラッシュカッター

地拵で他の実証林よりも小さかった。1,333本/ha区で収量比数が大きく、625本/ha区で小さかった。苗木の種類による違いはなかった。

忠類の対照区では、林分材積が同地域の低密度実証林における実生の1,333本/ha区よりも小さく、625本/ha区や1,000本/ha区と同程度であった(表-3)。収量比数も同地域の低密度実証林における実生の1,333本/ha区よりも小さく、実生の1,000本/ha区と同程度であった(表-3)。

6. 収量比数が0.7となる林齢

収量比数が0.7となる林齢は、植栽密度の低い区画で高く、植栽密度の高い区画で低かった(表-3)。625本/ha区ではクリーンランチ収穫予測ソフトで予測できる上限的林齢40年になっても収量比数が0.7に達するとは予測されなかった。忠類の対照区では通常の植栽密度であるにもかかわらず、林齢40年になっても収量比数が0.7に到達するとは予想されなかった。

考察

八坂ら(1999)や八坂(2000)が調査したグイマツ雑種F₁の低密度植栽の試験地では、実生苗が用いられた。グイマツ雑種F₁の種子供給量は限られているため、その後さし木による増殖が提案され(黒丸・来田 2003)、実用化されている。本報告では各実証林で実生とさし木の区画を設けており、それらの20年生時までの成長を比較することができる。さし木

表-8 一般化線形モデルを用いた20年生時の形状比への実証林、植栽密度、苗木の種類の効果

	ベストモデル			全ての変数を含むモデル		
	係数	標準誤差	有意差	係数	標準誤差	有意差
切片	84.157	0.717		84.490	0.760	
実証林 (美幌を0とする)						
美幌	0.000		a	0.000		a
忠類	-14.274	0.762	b	-14.306	0.762	b
士別ブラッシュカッター	-18.894	1.173	c	-18.853	1.173	c
士別ブルドーザ	-13.237	0.827	b	-13.241	0.827	b
津別	-6.647	0.720	d	-6.699	0.721	d
由仁	-4.805	0.716	d	-4.750	0.717	e
植栽密度 (625本/ha区を0とする)						
625本/ha区	0.000		a	0.000		a
1,000本/ha区	8.509	0.645	b	8.509	0.645	b
1,333本/ha区	11.444	0.634	c	11.424	0.634	c
苗木の種類 (さし木を0とする)						
さし木	—			0.000		a
実生	—			-0.611	0.461	a
AIC	46598.9			46599.1		

各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは、多重比較で有意差が認められたものである。

表-9 一般化線形モデルを用いた20年生時の林分材積への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル			全ての変数を含むモデル		
	係数	標準誤差	有意差	係数	標準誤差	有意差
切片	47.111	11.215		44.694	12.033	
実証林 (美幌を0とする)						
美幌	0.000		ab	0.000		ab
忠類	4.167	13.736	ab	4.167	13.895	ab
士別ブラッシュカッター	-27.333	13.736	a	-27.333	13.895	a
士別ブルドーザ	65.500	13.736	c	65.500	13.895	c
津別	15.000	13.736	b	15.000	13.895	b
由仁	70.500	13.736	c	70.500	13.895	c
植栽密度 (625本/ha区を0とする)						
625本/ha区	0.000		a	0.000		a
1,000本/ha区	47.167	9.713	b	47.167	9.825	b
1,333本/ha区	62.000	9.713	b	62.000	9.825	b
苗木の種類 (さし木を0とする)						
さし木	—			0.000		a
実生	—			4.833	8.022	a
AIC	339.31			340.83		

各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは、多重比較で有意差が認められたものである。

表-10 一般化線形モデルを用いた20年生時の収量比数への実証林, 植栽密度, 苗木の種類の効果

	ベストモデル			全ての変数を含むモデル		
	係数	標準誤差	有意差	係数	標準誤差	有意差
切片	0.231	0.037		0.216	0.039	
実証林 (美幌を0とする)						
美幌	0.000		a	0.000		a
忠類	0.012	0.045	a	0.012	0.045	a
士別ブラッシュカッター	-0.142	0.045	b	-0.142	0.045	b
士別ブルドーザ	0.178	0.045	c	0.178	0.045	c
津別	0.048	0.045	a	0.048	0.045	a
由仁	0.183	0.045	c	0.183	0.045	c
植栽密度 (625本/ha区を0とする)						
625本/ha区	0.000		a	0.000		a
1,000本/ha区	0.195	0.032	b	0.195	0.032	b
1,333本/ha区	0.273	0.032	c	0.273	0.032	c
苗木の種類 (さし木を0とする)						
さし木	—			0.000		a
実生	—			0.029	0.026	a
AIC	-72.398			-72.014		

各変数内で多重比較を行った。各説明変数においてアルファベットが異なるものは、多重比較で有意差が認められたものである。

の生存や成長が実生と比べて劣らないか懸念されていたが、植栽5年後ではさし木のほうが実生よりも樹高成長に優れており(来田ら 2010),それは植栽時にさし木苗のほうが実生苗よりも大きかったからと考えられている。20年生時でも全実証林をあわせて比較すると、さし木のほうが実生よりも平均樹高や平均胸高直径が大きいことから、さし木が実生よりも成長が劣るとは考えられなかった。生存率は、植栽5年後ではさし木のほうが実生よりも若干低かったが(来田ら 2010),20年生時にも同様の傾向が見られた。さし木と実生の間で林分材積に違いはなかったが、これはさし木のほうが実生よりも生存率が低い反面、樹高や胸高直径が大きいことによると考えられる。

由仁や士別ブルドーザ地帯で生存率が他の実証林よりも高かったものの(表-4),全ての実証林において山田ら(2009)が報告している植栽24年後の生存率約90%に比べて、とても低い値となった。本試験以外のグイマツ雑種F₁やクリーンラーチの低密度植栽試験では、千歳市西森で花岡ら(2021)が10年生までの結果を報告しているが、1,000本/ha区全体の生存率は83%と88%で、山田ら(2009)の報告した値を若干下回る程度であり、本実証林よりもはるかに高かった。また、東神楽町で大野(2022)が4年生までのクリーンラーチの生存率を98%と報告している。一方で、赤平市百戸町のクリーンラーチの低密度植栽の試験地では、2年生時に補植をしたにもかかわらず植栽5年後までに833本/ha区で55%に、1,111本/ha区で61%にまで生存率が低下している(空知総合振興局森林室 2015)。枯死原因は調査されていないが、ならたけ病とエゾヤチネズミの害と考えられている(空知総合振興局森林室 2015)。このような生存率のばらつきは、いわゆる“通常の植栽密度”の林分においても同様に見られる場合があると報告されている。たとえば、植栽密度2,000本/haで造成したグイマツ雑種F₁とクリーンラーチ、カラマツの植栽試験の、道内4箇所(洞爺湖、ニセコ、天塩中川、標茶)における植栽後5年間の調査結果(来田ら 2017)によれば、クリーンラーチやグイマツ雑種F₁の生存率は洞爺湖で85%程度、ニセコと天塩中川で82%程度であったが、標茶では55%程度と生存率が低かった。本研究においても、1,750本/haで植栽された忠類の対照区において生存率や本数密度が低くなっており(表-3, 図-1, 図-2),たとえ通常の植栽密度で植栽したとしても、低密度実証林において観察された本数密度や収量比数の低さの問題が解決しない場合があると考えられる。本報告での5年生までの枯死原因は、特定されたものではならたけ病が最も多かったが、由仁ではエゾヤチネズミによる食害が多かった(来田ら 2010)。しかし、最も多かったのは原因が特定されていない、活着不良を含む「その他」と分類されたものであった(来田ら 2010)。また、5年生以降は調査間隔が5年となったため、枯死原因はほとんどが不明である。したがって、本研究の各実証林やこれまでの報告の間で、

クリーンラーチやグイマツ雑種F₁の生存率がばらつく理由については、本研究を含めた既存データからは明らかにはできなかった。

カラマツの施業体系において、疎仕立てでは収量比数0.7で、中庸仕立てでは0.8で間伐が必要となる(北海道立林業試験場 2007)。本実証林では、生存率の低い試験区画では侵入木が多かったり、パッチ状に植栽木が生残して過密になったりしている部分もあると想定されるものの、実証林全体をまとめて植栽木だけで解析した結果では、625本/ha区では40年生になっても収量比数が0.7を超えず、1,000本/ha区でも33年生にならなければ収量比数が0.7を超えないと想定される(表-3)。各実証林の苗木の種類別・植栽密度別に見ても、植栽20年後に収量比数が0.7を超えるのが1林分で2.4%しかない(表-3)。山田(2010)は、グイマツ雑種F₁の1,000本/ha植栽の場合は24年生で収量比数が0.8に達し、初回間伐を行って直径20 cm以上の間伐木が得られることを示している。しかし、本実証林では生存率が低いため、これから侵入木の除伐を行った上で疎仕立てとして収量比数が0.7の時に初回間伐を行うとしても、ほとんどの箇所では初回間伐ができる林齢が24年生よりも相当遅れると想定される(表-3)。本研究によりクリーンラーチやグイマツ雑種F₁の植栽において生存率の低さが問題になる事例の方が多いことが明らかになったことから、現時点ではグイマツ雑種F₁の低密度植栽の実現可能性は低いと考えられる。グイマツ雑種F₁の低密度植栽を道内各地で実現するためには、枯死原因の解明と、中庸仕立て1,000本/ha植栽であれば生存率が先行研究と同等の24年生時90%程度を平均的に実現できる技術開発の成功が不可欠である。

謝辞

北海道水産林務部林務局森林整備課, 北海道水産林務部森林海洋環境局道有林課, 北海道水産林務部森林海洋環境局成長産業課, 北海道水産林務部森林海洋環境局成長産業課美唄普及指導員室, 胆振総合振興局森林室, 上川総合振興局北部森林室, オホーツク総合振興局東部森林室, 十勝総合振興局森林室, 林業試験場の多くの方々が、実証林の設計と造成, 維持に係る施業, 調査, 結果の取りまとめや報告をされてきました。20年間でこの試験に貢献された方々は数百名と思われ、1人1人のお名前は記載できませんが、全ての方々に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 花岡創・中田了五・福田陽子・玉城聡・加藤一隆(2021) グイマツ雑種F₁の優良系統で構成された林分における初期成長と成長に対する植栽密度の効果. 北方森林研究 69: 3-6
- 北海道立林業試験場(2007)カラマツ人工林施業の手引き. 北海道立林業試験場, 美唄

- 北海道立総合研究機構林業試験場 (2016) カラマツ収穫予測ソフトver3.12. 北海道立総合研究機構林業試験場, 美唄, <https://www.hro.or.jp/forest/research/fri/develop/keiei/karayosoku.html>, 2025年5月12日確認
- 北海道立総合研究機構林業試験場 (2023) クリーンラーチ収穫予測ソフトver1.0. 北海道立総合研究機構林業試験場, 美唄, <https://www.hro.or.jp/forest/research/fri/develop/keiei/cleanlarchyosoku.html>, 2024年10月17日確認
- 北海道水産林務部総務課 (2024) 令和4年度北海道林業統計. 北海道水産林務部総務課, 札幌, <https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/sum/kcs/rin-toukei/04rtk.html>, 2024年8月19日確認
- Hothorn T, Bretz F, Westfall P (2008) Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal* 50(3): 346-363
- 胆振森づくりセンター・上川北部森づくりセンター・網走東部森づくりセンター・十勝森づくりセンター (2004) グイマツ雑種F₁低密度植栽試験. 北海道水産林務部森林環境室道有林課編, 森林施業試験 道有林における実践例 (VIII), 189-202. 北海道水産林務部森林環境室道有林課, 札幌
- 胆振森づくりセンター・上川北部森づくりセンター・網走東部森づくりセンター・十勝森づくりセンター (2009) グイマツ雑種F₁低密度植栽試験. 北海道水産林務部森林環境室道有林課編, 森林施業試験 道有林における実践例 (IX), 130-155. 北海道水産林務部森林環境局道有林課, 札幌
- 胆振森林室・上川北部森林室・網走東部森林室・十勝森林室 (2015) グイマツ雑種F₁低密度植栽試験. 北海道水産林務部森林環境局道有林課編, 森林施業試験 道有林における実践例 (X), 110-132. 北海道水産林務部森林環境局道有林課, 札幌
- 胆振総合振興局森林室・上川総合振興局北部森林室・オホーツク総合振興局東部森林室・十勝総合振興局森林室 (2021) グイマツ雑種F₁低密度植栽試験. 北海道水産林務部森林環境局道有林課編, 森林施業試験 道有林における実践例 (XI), 84-106. 北海道水産林務部森林環境室道有林課, 札幌
- 来田和人・今博計・石塚航・黒丸亮 (2017) 北海道内4か所に造成したクリーンラーチ植栽試験地における5年生までの成長. *北方森林研究* 65: 47-50
- 来田和人・内山和子・市村康裕・黒丸亮 (2010) さし木苗木と実生苗木を植栽したグイマツ雑種F₁低密度植栽実証林における幼齢期の成長と造林コスト. 北海道林業試験場研究報告 47: 1-13
- 黒丸亮・来田和人 (2003) グイマツ雑種F₁幼苗からのさし木増殖法. 北海道林業試験場研究報告 40: 41-63
- 黒丸亮・大島紹朗・錦織正智 (1996) グイマツ雑種F₁の幹はどの程度通直か. *光珠内季報* 103: 11-13
- 大野泰之 (2022) クリーンラーチを使うとカラマツよりも刈り期間を短縮できるか? - 育林コストの低減も見据えて -. *北海道の林木育種* 65: 5-9
- R Core Team (2024) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 林野庁 (2022) 低密度植栽で低コストで効率的な再造林を目指す! 日本森林技術協会, 東京 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kanbatu/houkokusho/attach/pdf/syokusai-8.pdf> 2024年10月11日確認
- 空知総合振興局森林室 (2015) スーパーF₁による低密度植栽施業林. 北海道水産林務部森林環境局道有林課編, 森林施業試験 道有林における実践例 (X), 133-137. 北海道水産林務部森林環境室道有林課, 札幌
- 高橋延清・西口親雄 (1966) 林木の耐鼠性に関する研究(2) 雑種カラマツF₁苗にたいするエゾヤチネズミの摂食嗜好性. *東京大学農学部演習林報告* 62: 173-188
- 山田健四 (2010) グイマツ雑種F₁は低密度植栽でも大丈夫! . *光珠内季報* 159: 8-11
- 山田健四・八坂通泰・大野泰之・中川昌彦 (2009) 低密度植栽後24年間のグイマツ雑種F₁の成長. *日本森林学会北海道支部論文集* 57: 85-87
- 八坂通泰 (2000) グイマツ雑種F₁の低密度植栽の可能性. *光珠内季報* 118: 1-4
- 八坂通泰・寺澤和彦・梅木清 (1999) グイマツ雑種F₁の植栽密度試験 - 低密度植栽による育林コスト削減の可能性 -. *日本林学会北海道支部論文集* 47: 117-118
- 八坂通泰・滝谷美香・大野泰之・石濱宣夫・福地稔・酒井明香・津田高明・木幡靖夫 (2013) 無間伐施業によるバイオマス生産の可能性 - グイマツ雑種F₁植栽密度試験林の生育状況より -. *北方森林研究* 61: 63-66