

II 令和4年度試験研究の概要

(森林経営部)

**ICT技術を活用した原木丸太デジタル情報共有化技術の検討**

担当G：森林経営部経営G、道東支場

協力機関：北海道水産林務部林務局林業木材課、下川町、芦別市、厚真町、  
日立建機(株)、住友建機(株)、(株)新宮商行、コマツカスタマーサポート(株)

研究期間：令和2年度～4年度 区分：受託研究(スマート林業EZOモデル構築事業協議会)

**研究目的**

原木生産から運搬、工場受け入れまで繰り返し行われる検知作業を省力化するために、原木丸太のデジタル情報化と活用方法を検討する。

**研究方法**

1) 丸太原木デジタル情報測定精度の比較  
ハーベスタや写真検知のような機械検知、そして、人力検知(2cm括約)は、それぞれ測定方法が異なるため、誤差の出方が異なる。そこで、縦横2方向で測定した直径の平均値を基準とし、それぞれの測定方法で得られたデータとの誤差の平均値(平均測定誤差)を比較検討する。  
○使用機械：ハーベスタ(ワラタ)、写真検知(ビーシステム、ティムベター)

2) 原木丸太デジタル情報の活用方法の検討  
ICTハーベスタで測定したデータの活用方法の一つである最適造材機能(以下、バリューバックング)を検証する。  
\*バリューバックング  
あらかじめ用意した材価表に基づき、最も利益が上がる造材条件(例えば、1本の原木丸太から3.65m材○本、3.0m材■本、2.4m材△本を造材する)をハーベスタが提案する  
使用機械：ハーベスタ(ワラタ)

**研究成果**

1) 丸太原木デジタル情報測定精度の比較  
表-1に、mm単位で測定した基準値(縦横2方向で測定した直径の平均値)に対する各測定方法の平均測定誤差を示す。人力検知ではトドマツとカラマツともに約2cm、写真検知(ビーシステム)ではトドマツで約3cm、カラマツで約2cmとなった。写真検知(ティムベター)では、トドマツで他と同様の測定誤差であったが、カラマツでは測定誤差が小さい結果となった。また、ハーベスタ検知での測定誤差は1cm以下になった。

このうち、写真検知については、繰り返し測定が可能であるので、出荷元と受入先で再測することも可能である。そこで、20枚の円板(ヨーロッパトウヒ)を床に並べ、基準円板を代えながら測定した。円板の並びは2パターンで行ったので、円板1枚当たりの測定回数は40回/枚である。測定結果に対する比較に用いた原木丸太直径測定値は、縦横2方向で実測した直径の平均値(基準値)である。図-1に、円板ごとに基準値に対する写真検知測定の誤差を箱ひげ図で示した。個々の円板に対する写真検知による直径測定の誤差は全ての円板でみられ、外れ値と判定された測定値(ひげよりも外側に点で表示された値)も十数点みられ、毎回同じ測定値が出る方が稀だった。各測定回で測定誤差が±1cm未満に収まった円板は全体の53.1%、同じく±2cm未満では80.5%となった。一方で、全測定値における測定誤差の平均値は0.08±0.8cmという結果も出た。個別測定のばらつきは全体に直すとうまく打ち消しあう傾向が見受けられた。ちなみに、同じ円板を繰り返し基準直径として使用する場合、何度やっても同じ測定値が得られ、この場合は完全な再現性が認められた。

測定方法	トドマツ	カラマツ
人力検知	1.6±0.8cm	1.3±0.9cm
写真検知(ビーシステム)	2.7±1.9cm	1.5±1.4cm
写真検知(ティムベター)	2.8±1.1cm	0.4±1.3cm
ハーベスタ検知	—	0.2±0.9cm

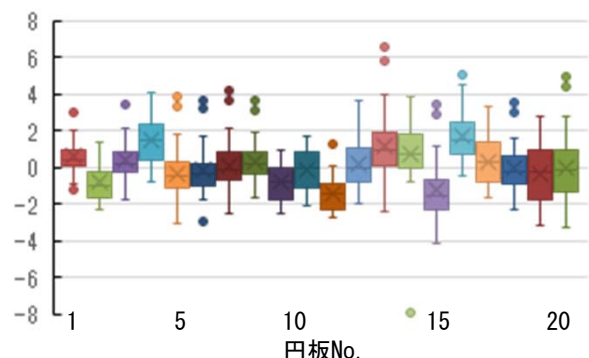


図-1 円板直径基準値に対する写真検知測定の誤差

2) 原木丸太デジタル情報の活用方法の検討

ワラタ社製ハーベスタ(写真-1)には、ICT機能の一種である最適造材機能(以下、バリューバックキグ)が搭載されている。

このバリューバックキグ機能について、普段はグラップルローダやフォワードしか操縦経験の無いハーベスタ操縦初心者を対象に、バリューバックキグ指示による造材結果とオペレータ判断のみの造材結果を比較検証した。なお、バリューバックキグ機能では判断できない、曲がりや腐れの判断については、両者ともにオペレータによって行われた。

材長別の造材結果について、図-2に示す。原木丸太生産数は、バリューバックキグでは221本(材積14.2m<sup>3</sup>)、同じく、初心者オペレータ判断では250本(材積14.7m<sup>3</sup>)だった。材長別の出材傾向は、3.65m材を多く取ることは両者で共通しているが、3.0m材については、バリューバックキグの方が多く取る傾向がみられた。また、パルプ材の比率が、バリューバックキグの方がオペレータ判断より、少ない傾向も認められた。

次に、上記の出材結果から推計した木材販売額について、図-3に示す。販売額の内訳は、パルプ材を除けば(パルプ材は3000円/m<sup>3</sup>と他の材種の半分以下の低価格なため、出材本数は最多だが販売額内訳上は極端に比率が小さくなる)、出材傾向を概ね反映している。総販売額では、バリューバックキグの方がオペレータ判断よりも約7%高い結果となった。

次に、販売額で多くを占めた3.65m材を対象に、出材丸太の径級分布と材価帯を重ね合わせ、バリューバックキグとオペレータ判断の傾向を検討した(図-4)。バリューバックキグの方が低価格帯の小径級材を多く造材していた傾向がみられた。このことが、バリューバックキグの方がオペレータ判断より3.65m材の出材本数比率が高いにも関わらず(図-2)、販売額ではオペレータ判断よりも下回った要因(図-3)と考えられる。

作業観察からは、オペレータ判断では、造材時に材価が高い3.65m材を優先し、残りから他の材種を取ろうとする傾向が見られたが、バリューバックキグでは必ずしもそうではなく、時には3.0m材を間に挟んで梢端の方でも3.65m材を取ることもあり、1本の立木からなるべく多くの一般材を取ろうとする傾向が見られた。

これらの結果より、ICTハーベスタの一機能であるバリューバックキグ機能は、一般材の出材比率を高めることにより、ハーベスタ任せでもオペレータ判断と同等かそれ以上の木材販売額を実現可能と出来ると考えられた。



写真-1 ワラタ社製のICT機能を有するハーベスタ

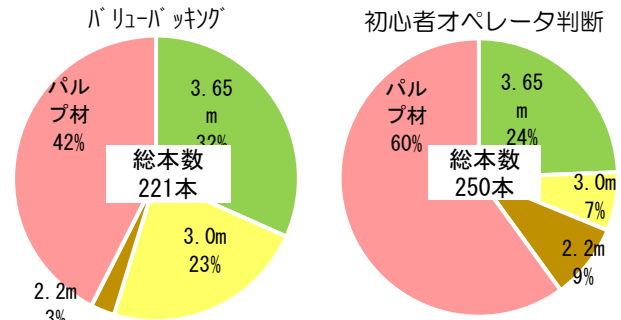


図-2 バリューバックキグ機能と初心者オペレータ判断による材長別出材本数の比較

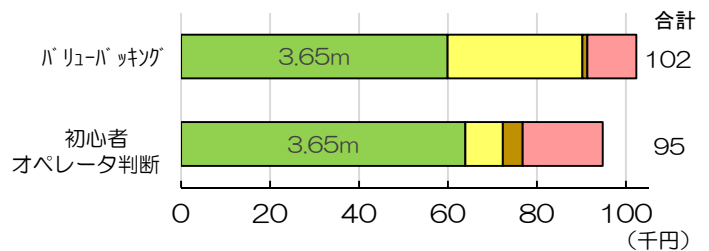


図-3 バリューバックキグ機能と初心者オペレータ判断による出材結果から推定した木材販売額の推計(凡例は図-2に準じる)

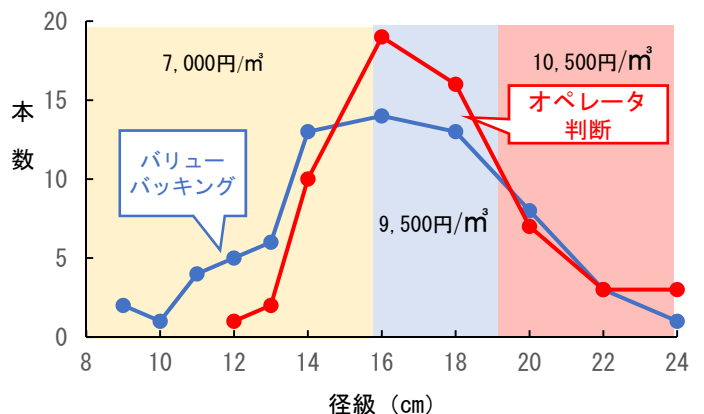


図-4 3.65m材におけるバリューバックキグと初心者オペレータ判断による出材丸太の径級頻度分布(背景色の違いは材価帯を表す)

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

渡辺ほか(2022) ICT技術を活用した原木丸太デジタル情報化技術の検討。北方林業,73(3)  
 渡辺一郎(2023) ICTハーベスタの測尺精度と活用方法の検討。北海道スマート林業EXPO2023

# 製材からプレカットまでを行う 垂直統合型・垂直連携型事業体の成立条件の解明

担当G：森林経営部経営G

共同研究機関：林産試験場

研究期間：令和4年度～令和6年度

区分：重点研究

## 研究目的

道外の木材加工施設では様々な品質の原木を用いて製材からプレカット、発電まで行う「垂直型事業体」が見られ、製造工程の分断による工場間の輸送費等のコスト増加要因（以下「工程間ロス」）の解消に繋がっている。本研究では、製材、集成材、プレカットの3部門の統合・連携による工程間ロスの低減効果の検証や低質材による建築材製造および効率的な原木集荷・選木方法の実証により、道内での垂直統合型事業体もしくは垂直連携型事業体の成立条件を明らかにする。

## 研究方法

実証実験を行う製材工場のトドマツ原木購入先の一つである渡島東部道有林を対象に、原木供給可能量の推定に必要な次の2項目を実施する。

- ①原木供給量の確保に必要な林内路網整備の水準（路網密度及び道路規格）を現地調査及びシミュレーションにより推定
- ②林内から原木需要先までの効率的な運材方法の構築

## 研究成果

### 1) 原木供給量の確保に必要な林内路網整備の水準

- ・実証実験を行う製材工場の原木購入先である渡島東部道有林を対象に、路網整備が新規に必要なトドマツ小班(施業履歴がなく路網から25m以上離れている166ヶ所：273ha)に対して、森林作業道規格の路網の路線長及び作設費用を算出した(使用ソフト：FRD((株)住友林業))。平均路線長は385mであり、500m以内の路線が77%を占めていた。また、同一の路線長であっても、地山の平均勾配により作設費用が異なった(図-1)。
- ・路線整備により収穫可能となる材積に対する作業道作設費用(積算値)を算出した(図-2)。収穫可能材積(積算値)が5万 $m^3$ 以降での収穫材積に対する作業道の作設費用の増加率(グラフの傾き)が大きくなっており、収穫可能材積が5万 $m^3$ までに比べ作業道の作設費用が高いことが判明した。

### 2) 林内から原木需要先までの効率的な運材方法の構築

- ・渡島東部道有林内にて、既往の中間土場に類似した地形（地形起伏指数及び面積）を抽出し現地踏査を行った結果、4箇所が中間土場として利用可能と判断された。
- ・原木輸送における小班から製材工場への直送と中間土場経由の経済性を比較するため、実証実験を行う製材工場と各小班間の運転時間を直送と中間土場経由で比較し、より短時間で輸送が可能となる方法を小班毎に判定した(図-3)。

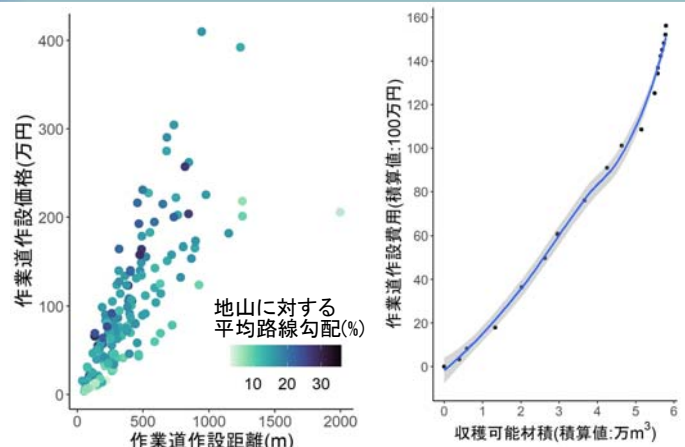


図-1 各小班における作業道作設の距離・勾配と作設費 図-2 収穫可能材積に対する作業道作設費用の関係

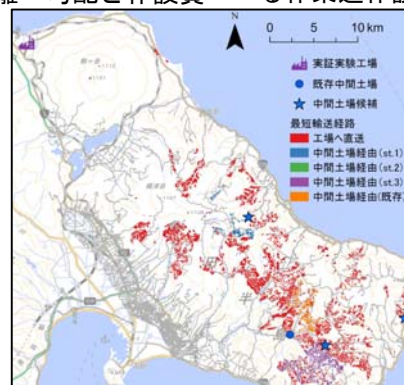


図-3 中間土場の候補地及び小班毎の原木輸送における運転時間の短い輸送方法

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

なし

# 森林の急激な環境変化が 野生植物の生態的・進化的変化に与える影響

担当G：保護種苗部育種育苗G

共同研究機関（協力機関）：帝京科学大学（主管）、東京大学、  
（森林総合研究所北海道支所）

研究期間：令和2年度～令和4年度 区分：公募型研究

## 研究目的

生物を取り巻く環境の変化に対する生物側の変化には、個体数や個体内の機能形質が変化する「生態的変化」と、集団内の遺伝的組成が変化するといった遺伝子スケールでの応答を指す「進化的変化」がある。森林植物集団を対象とした野外調査を実施して、生育環境の変化に伴った生態的変化の実態を観察するとともに、集団ゲノム解析により進化的変化を評価することで、比較的短い時間スケールで起こる急激な環境変化に対する植物側の環境応答を探ることを目的とする。本課題の中では、地域環境に適応するような進化的変化がすでに知られており、林業用種苗に遺伝的変異が活用されている常緑針葉樹のトドマツを材料として、光を主体とした急激な環境変化への応答の一端を明らかにする。

## 研究方法

・圃場試験（処理別、産地別の効果の検証）  
調査地：林業試験場苗畑  
材料：由来産地別トドマツ苗（4地域のべ16産地※測定項目により変わる）  
試験：2処理（開放区・遮光区）での2年間の育苗試験を実施し、諸形質を継続測定

・トドマツの諸形質における処理と遺伝の効果の定量  
測定：成長）樹高、肥大成長、樹冠成長、資源）部位別の乾燥重量、資源獲得量、資源配分、形態）枝数、枝長、枝細さ（枝の資源量あたり長さ）、生理）葉の光合成活性  
解析：諸形質への処理（遮光有無）と遺伝（由来産地）の効果（ANOVA）※光合成活性は季節推移を解析対象

## 研究成果

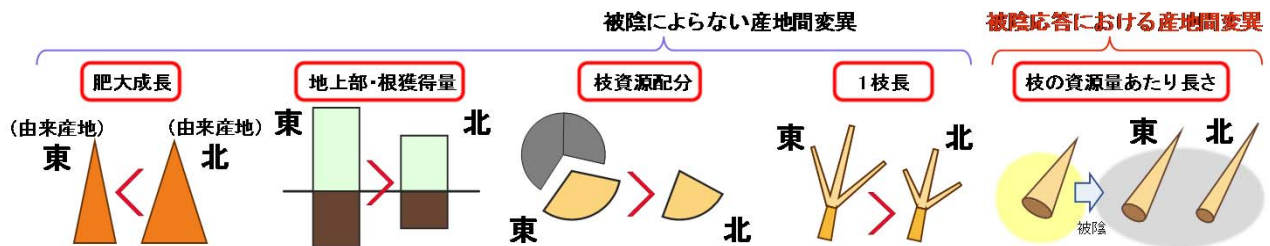
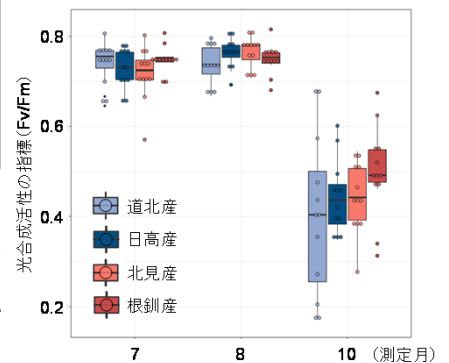


図-1 育苗試験でみられた産地間変異の概念図 解析形質のうち変異があったものを示す。東と北は由来産地を表す。

・被陰による、個葉単位での形態的応答と、個体単位での成長応答や形態的・生理的応答を明らかにした。成長性や資源配分、枝長には、被陰によらず産地間差異があることが明らかになったが（図-1）、被陰による枝細さ（枝の資源量あたり長さ）の変化が道北地域産において大きく、環境応答幅に遺伝的変異があることを明らかにした（図-1）。

・光合成活性の指標（Fv/Fm）の夏期から秋期にかけての季節推移を解析したところ、開放区において産地間差異が認められ、根釧地域産は秋期でもFv/Fm値が高い傾向を示した（図-2）。

図-2 測定月ごとのFv/Fmデータの分布を表す箱ひげ図を地域別に示す。Fv/Fmは葉の活性の高さと関連し、通常、秋から冬にかけて低く推移する。



## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

Sugai T, Ishizuka W, Watanabe T (2023) Landscape gradient of autumn photosynthetic decline in *Abies sachalinensis* seedlings, *Journal of Forestry Research*, doi:10.1007/s11676-022-01592-0.  
安栖永遠・石塚航・遠藤いす貴・井手淳一郎 (2023) 地上部および根の切断がトドマツの苗木の根渗出物量に及ぼす影響, *北方森林研究*, 71, 27-29.  
菅井徹人・石塚航 (2022) 冬の環境変動がトドマツに与える影響, *北海道の林木育種*, 65(1): 28-33.

# 長距離ジーンフローが卓越する針葉樹で なぜ高標高エコタイプが存在しうるのか？

担当G：保護種苗部育種育苗G

共同研究機関：東京大学（主管）、森林総合研究所、森林総合研究所北海道支所

研究期間：令和2年度～令和4年度 区分：公募型研究

## 研究目的

一般的にマツ科針葉樹はジーンフロー（遺伝子流動）が卓越するが、それにも関わらず局所適応（自生環境へ特化した遺伝的な適応）が発達する種がみられる。高標高環境下でしばしばみられるエコタイプ（特異な生態的特性を示す集団）は、大きなジーンフローの中でも局所適応を維持できる要因を探るのにふさわしい系である。本研究では、遺伝的基盤が整備されている北方針葉樹トドマツの高標高エコタイプを材料に、エコタイプの特性や適応的遺伝子のジーンフローの実態を解明することを目的とする。

## 研究方法

・苗木と接ぎ木クローンを用いた共通圃場試験  
調査地：林業試験場苗畑  
材料：山岳・標高・母樹別の苗木群（2019年播種4年生）、高標高自生個体・低標高自生個体・標高間交雑第一世代の接ぎ木クローン群（2017年接ぎ木）

・遺伝的変異の実態評価とジーンフロー解析  
調査地：3山岳（大麓山、十勝岳、芦別岳）  
材料：標高別の天然林集団とその次世代  
解析：各集団の繁殖個体探査、開花観察、DNAサンプリング、DNA解析によるジーンフローの推定

## 研究成果

・どの山岳においても高標高由来の集団ほど成長が緩やかで（図-1）、結実数も多かったため、繁殖への資源投資が大きい傾向があった。これらは高標高エコタイプの遺伝的特性としてまとめられた。  
・標高別の天然林における空撮データと現地での抽出調査から繁殖個体の密度とサイズ分布を把握し、高標高で有効集団サイズが小さいことを示した。

・高標高集団は遺伝的に特異で、他集団との間で花粉散布によるジーンフローが制限されていた。  
・2022年に全標高で十分な繁殖が認められたことから、雄花の開花期を現地にて観察したところ、高標高集団の開花が遅いことがわかった（図-2）。高標高エコタイプを維持しうる機構の一つとして、開花フェノロジーのズレが寄与すると考察された。

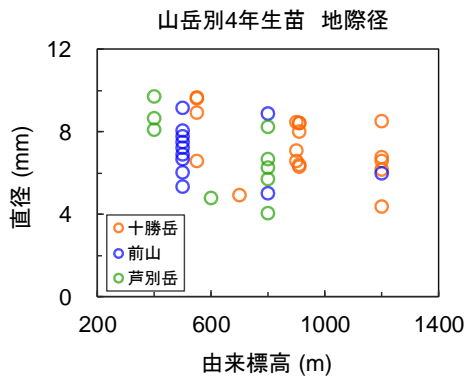


図-1 共通圃場試験における実生の地際径  
各点は母樹別の値で、凡例に示す山岳別に色分けした。2022年測定した4年生時の値。由来標高に沿ってx軸上に並べて示すとおり、標高ラインが認められた（Pearsonの相関； $r = -0.302$ ,  $p < 0.05$ ）。

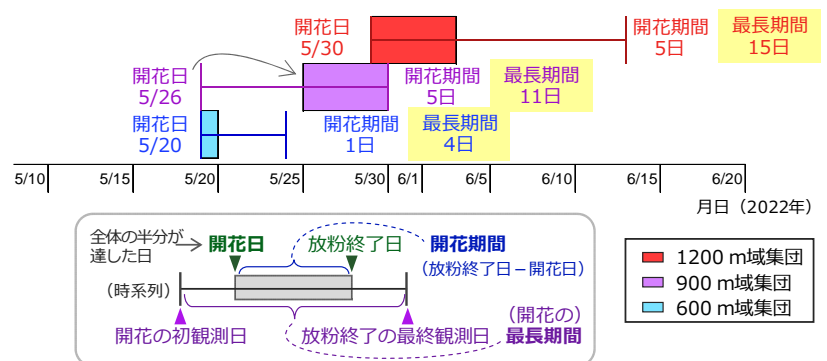


図-2 十勝岳における標高別集団の2022年開花スケジュール  
各集団で固定観察木をあらかじめ選定し（ $n = 7$ ）、2022年5月上旬から6月下旬まで、雄花の開花状況を週2回頻度で観察し、データを得た。開花の評価については、雄花を直接叩いて花粉散布を見ることを行った。観察データをもとに、図中の凡例に沿ってまとめた。

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

Ishizuka W, Kitamura K, Hara T, Goto S (2022) Characterization of the complete chloroplast genome of *Abies sachalinensis* and its intraspecific variation hotspots, *Journal of Forest Research*, 27, 6, 476-482.  
石塚航・北村系子・中西敦史・津山幾太郎・内山憲太郎・種子田春彦・久本洋子・後藤晋 (2022) 繁殖にみるトドマツ天然集団の標高間差, 第11回 森林遺伝育種学会.  
北村系子・中西敦史・石塚航・後藤晋・津山幾太郎・種子田春彦・久本洋子・内山憲太郎 (2022) 十勝岳トドマツ天然林における高標高帯分布限界集団の遺伝的分化, 第54回 種生物学シンポジウム.

# 抵抗性育種に向けた カラマツ樹皮に含まれるネズミ忌避物質の評価

担当G：保護種苗部育種育苗G

協力機関：林産試験場

研究期間：令和4年度

区分：職員研究奨励事業

## 研究目的

カラマツは北海道における主要造林樹種である一方で、もともと本州からの導入樹種であるために在来のエゾヤチネズミによる食害が問題となっている。林業試験場ではこれまでグイマツと種間交雑することで、カラマツよりも耐鼠性が高いグイマツ雑種F<sub>1</sub>の創出は行ってきたものの、カラマツそのものの耐鼠性を改良する取り組みは行ってこなかった。そこで、カラマツ人工交配林にてネズミの発生数が多かった年以降に、個体ごとの食害程度のばらつきには、親の違いに起因する遺伝的影響が存在するのか評価する。また、樹皮中の候補忌避物質について、それぞれの含有量と食害程度との関係を遺伝特性として解析することで、忌避物質としての働きを評価する。

## 研究方法

材料：カラマツ類人工交配林  
 造成地：美唄  
 造成年：1976年(調査時46年生)  
 調査対象：カラマツ231個体  
 グイマツ雑種F<sub>1</sub>28個体

測定項目：1)食害面積 2)候補忌避物質(特定テルペノイド)6種の含有量  
 方法：1)LiDARによる食害個体ごとの点群データ取得→3D解析ソフトによる食害部分の抽出・表面積測定  
 2)個体ごとの樹皮採取→ガスクロマトグラフによる部位(内樹皮・外樹皮)別の目的物質の定量

## 研究成果

### 食べられにくいカラマツ系統も存在

グイマツ雑種F<sub>1</sub>に比べ、カラマツは食害面積に大きなばらつきがあった(図-1)。次に交配情報をもとに、親系統の遺伝的な食害の受けやすさを評価したところ、被害を受けやすいものから受けにくいものまで系統による違いがみられた。また、カラマツの中にもグイマツと同程度の食べられにくさを示す系統が存在することが明らかになった(図-2)。

### 忌避物質の可能性

カラマツ調査個体について、遺伝的な食害の受けやすさと候補忌避物質含有量との関係を解析したところ、内樹皮中α-Pineneのみで、食害程度との有意な負の相関がみられ、忌避物質としての働きが示唆されたが、相関係数は大きくなかった(図-3)。

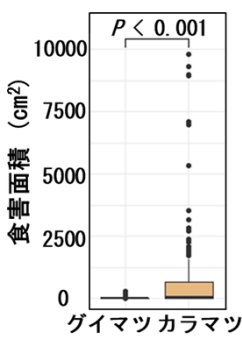


図-1 樹種ごとの食害面積  
 カラマツはグイマツ雑種F<sub>1</sub>よりも有意に食害面積が大きかったが、被害のない個体も多く存在した。

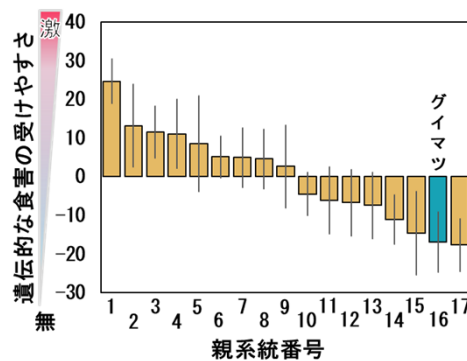


図-2 親系統別の遺伝的な食害の受けやすさ  
 食害の受けやすさは値が小さいほど食べられにくいことを示す。黄色はカラマツ、青はグイマツの系統を表す。

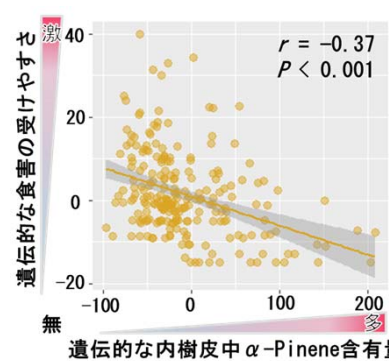


図-3 内樹皮中α-Pinene含有量と食害の受けやすさの遺伝的な関係  
 縦軸は図-2参照。横軸は値が大きいほど含有量大きいことを示す。なお、内樹皮中α-Pineneが対象物質の中で唯一食害の受けやすさと有意な負の相関を示した。

カラマツは、種内交配によって耐鼠性を改良できる可能性がある。また忌避物質の存在が示唆されたものの、その効果は大きくはなく、食害程度の決定要因については今後も検討が必要である。

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- 米澤美咲・石塚航(2022) カラマツ次代検定林におけるネズミ食害面積と樹皮中テルペノイド含有量について. 森林遺伝育種学会第11回大会.
- 米澤美咲・石塚航(2023) カラマツのネズミ食害程度に影響する遺伝と環境の要因探索. 第134回日本森林学会大会.

# 品質改良に向けたクリーンラーチ種苗の遺伝的管理

担当G：保護種苗部育種育苗G

共同研究機関：住友林業（株）筑波研究所

研究期間：令和4年度 区分：一般共同研究

## 研究目的

クリーンラーチはグイマツ‘中標津5号’を母親、不特定のカラマツ精英樹を花粉親とするため、花粉親側の改良によって成長特性や材の強度的性能といった形質の向上や、発現形質の均質化が期待できる。このような品質改良の取り組みには、効果的・効率的に個体の遺伝情報と形質評価とを組み合わせ、活用することが重要である。そこで、本研究では、クリーンラーチ種苗を正しく識別して遺伝情報を取得するとともに、遺伝的管理技術として、形質評価を行う試験地のクリーンラーチ個体への適正な遺伝情報の紐づけを試みた。

## 研究方法

**材料** 1) クリーンラーチの識別と遺伝情報取得  
クリーンラーチ挿し木苗818個体。種子源は道有訓子府採種園で、共同研究先が挿し木して育苗。  
2) 適正に遺伝情報が紐づいた試験林の造成  
紋別市（共同研究先所有林）に面積0.5 haで皆伐地拵え地を準備。ここに対照のカラマツとともに植栽したクリーンラーチ挿し木苗818個体を対象。

**方法** 1) 遺伝解析による挿し木苗の親判別を実施：ゲノム情報の一部を解析（縮約解読）して遺伝子型を取得し、得られた変異情報に基づいて母親と父親の遺伝的系統を推定する。  
2) 試験林の配植を設計し、植栽を実施：遺伝的特性を把握できるような設計とし、遺伝子型一個体情報を維持させながら植栽する。

## 研究成果

### 1) クリーンラーチ挿し木苗の識別と遺伝情報取得

これまでも実績のある遺伝解析手法（GRAS-Di@技術）を適用させることで、供試個体の75%において親が特定でき、これらは58系統のカラマツ親で構成されていた（表-1）。全個体に遺伝子型情報を付与した。

表-1 遺伝解析に供したクリーンラーチ挿し木苗の遺伝解析結果

分類	個体数	台木数	台木あたり 個体数	父親系統数	父親あたり 個体数	(最小-最大)
全体	818	245	3.3			
父親特定	611 (75%)	174 (71%)	3.5	58	10.5	(1-77)
父親未特定	207 (25%)	71 (29%)	2.9	unknown		

### 2) 適正に遺伝情報が紐づいた試験林の造成

次代検定の枠組みで無作為化配植を行い（図-1）、個体単位で植栽地番を割り振った。今後の追跡のために、苗木に個体識別番号を付与し、遺伝子型一個体情報が維持された状態の適正な試験林を造成できた。

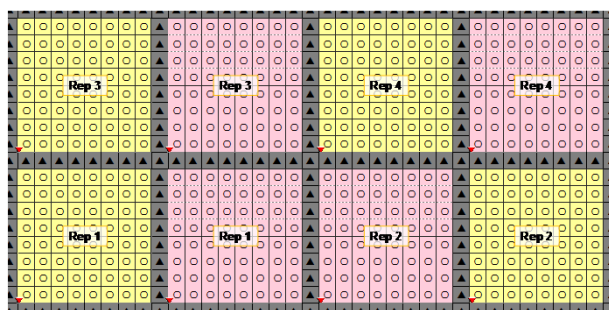


図-1 試験地の設計の一部 苗木は丸印マスに無作為に配り、地番と個体情報を紐付けて管理した。黄色マスは1個体単位で扱うプロット、桃色マスは父親が同じ4個体を1単位で扱うプロットで、それぞれ反復を設けた。灰色マスへ境界木のトドマツを植栽した。



図-2 植栽後の試験地の様子（2022年10月撮影）  
落葉期のため判別し難いが、ラベル付き個体が植栽されている。境界に植栽したトドマツは判別が容易。

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

石塚航・楠和隆・堀隆博(2023)新設採種園におけるクリーンラーチ種子の評価：2022年産種子の品質、令和5年北海道森づくり研究成果発表会。

# カラマツ類優良品種の効率的な選抜のための技術開発

担当G：保護種苗部育種育苗G

協力機関：北海道水産林務部林務局森林整備課・森林環境局道有林課、空知総合振興局森林室、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、東京大学、北海道大学、中央農業試験場

研究期間：平成30年度～令和4年度 区分：経常研究

## 研究目的

道内の人工林の多くは主伐・再造林期を迎え、苗木需要量の大幅な増加が見込まれるため、優良種苗の確保に向けた育種事業の重要性が高まっている。ところが、検定林造成から選抜まで30年以上要する年月の長さや、家系作出のための人工交配の手間が、選抜効率の点で大きな課題となっている。そこで、北海道の主要造林樹種であるカラマツ類（カラマツ、グイマツ雑種F<sub>1</sub>）を対象として、初期成長を用いた早期選抜と、DNA情報を活用した交配親推定による優良親を選抜する新たな次代検定技術の開発を本課題の中で目指す。

## 研究方法

**材料** 1) 新規造成の次代検定林（3試験地、1試植地）  
 造成地：北見・土別・岩見沢・三笠、造成年：2018年、対象：カラマツ・グイマツの交配次代  
 2) 既存のグイマツ雑種F<sub>1</sub>検定林  
 造成地：富良野市、造成年：2006年、対象：グイマツ母樹1系統の採種園産自然交配次代。DNA解析においては、採種園内の父親候補となるカラマツも供試。

**方法** 1) 早期選抜の枠組み提示：3試験地の成長、試植地での生理特性を調査。親の遺伝的特性の優劣を評価し、優良系統を選抜する。  
 2) DNA情報を活用した優良親の選抜の枠組み提示：成長、材質を調査。DNA解析によって父親を特定。特定した親について、遺伝的特性の優劣を評価し、優良な親を選抜する。

## 研究成果

1) **早期選抜** 通常の選抜齢（30年）と遺伝相関がある5年生時樹高や、さらに生理特性を加味させて遺伝的特性を評価し、選抜指数を算出した。5年時の早期選抜が可能であることを示した。

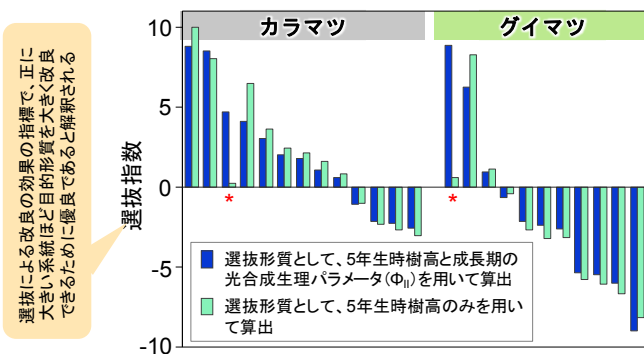


図-1 新設検定林での樹種別の親の遺伝的特性凡例にて説明する2つの選抜指数を、カラマツ・グイマツの親系統ごとに高い順で示す。\*の系統は、次代検定林で測定した形質のみでは選抜されないが、生理パラメータを含めることで追加選抜できる系統。

2) **優良親の選抜** DNA情報によって、今まで不明だった父親情報を付与できた。その父親の遺伝的特性評価として選抜指数を算出し、実際に成長形質に優れた4系統を新規に見出せることを実証した。

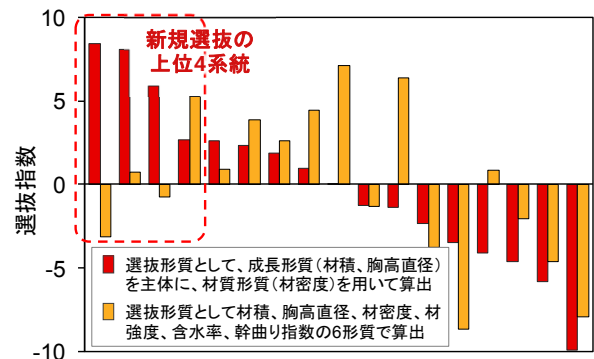


図-2 DNA情報により特定した親の遺伝的特性凡例にて説明する2つの選抜指数を、カラマツ親系統ごとに高い順で示す。選抜指数は15～16年時の成長・材質関連諸形質を用いて算出。図中の上位4系統が、優良であるとして新規に選抜したカラマツ系統。

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

Chen S, Ishizuka W, Kuromaru M, Goto S (2023) Spatial heterogeneity analysis for estimating breeding values of tree height in a hybrid larch progeny test plantation, Journal of Forest Research. doi:10.1080/13416979.2023.2198132.  
 Chen S, Ishizuka W, Unno Y, Kusunoki K, Goto S (2022) Pollen dispersal patterns and male reproductive success based on pedigree reconstruction in a hybrid larch (*Larix gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) open-pollinated seed orchard, Tree Genetics & Genomes, 18: 33.  
 石塚航・内山憲太郎・陳淑芬・後藤晋 (2022) グイマツとニホンカラマツにおける葉緑体-ミトコンドリア変異検出マーカーセットLgLk-CMVの開発, 日本森林学会誌, 104, 44-49.  
 Chen S. (2023) Single and multi-trait genomic prediction integrating additive and dominance genetic effects in hybrid larch, 第134回 日本森林学会大会.



# クリーンラーチ挿し木苗の得苗率を向上させる 育苗管理技術の開発

担当G：保護種苗部育種育苗G

共同研究機関（協力機関）：北方建築総合研究所、（北海道水産林務部林務局森林整備課、北海道山林種苗協同組合）

研究期間：令和元年度～令和4年度 区分：重点研究

## 研究目的

クリーンラーチ苗木の増産を促進するため、良質で従来よりも成長が優れた採穂台木の露地栽培条件を明らかにするとともに、挿し木育苗に適した温湿度、光環境を保持できる農業ハウスとその管理手法を開発する。併せて苗畑への移植過程で生じるダメージを軽減できる新たな育苗方法を開発し、最終的に挿し木から出荷までの得苗率を60%以上に向上させる育苗管理体系を確立する。

## 研究方法

項目1：採穂台木の促成栽培  
試験①：トンネル（不織布、農PO）  
マルチ（黒色）の効果検証  
試験②：農業用ハウス

項目2：挿し木ハウスの開発  
要素：遮光率、ミス、風防、  
トンネル  
測定：温湿度、光、発根率

項目3：農業用セルトレイ  
試験①：固化培土の比較  
試験②：移植機での苗畑移植  
試験③：コンテナ移植

## 研究成果

### 1. 採穂台木の促成栽培

不織布トンネルと黒マルチの組合せにより、トンネル内の気温・地温が上昇、土壌水分が保持され、採穂台木の成長が慣行法に比べて10日早まった（図-1）。一方、農POフィルムは、高温による枯損が発生し、トンネル被覆資材として不適だった。

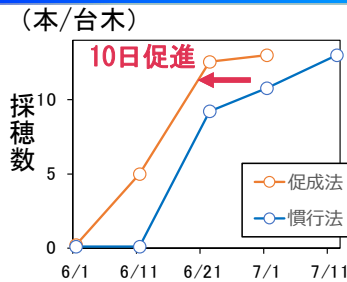


図-1. トンネル+黒マルチによる採穂数の推移と栽培の様子

ハウス栽培により、気温・地温が上昇し、採穂台木の成長が慣行法に比べて10日以上早まった（図-2）。トンネル栽培に比べ、設置コストはかかるが、安定した促成効果が見込められた。

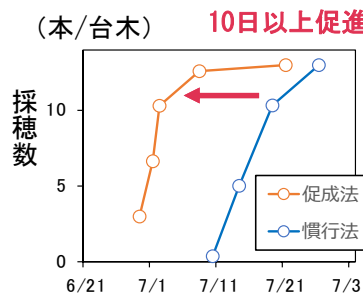
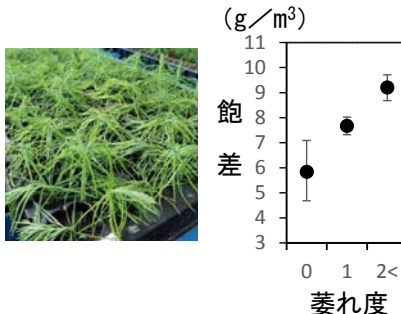
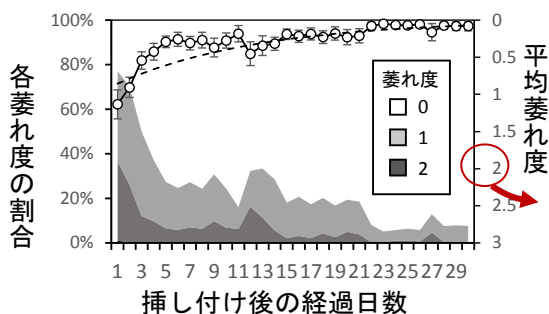


図-2. ハウス栽培による採穂数の推移と栽培の様子

### 2. 挿し木ハウスの開発



飽差\*が9.2g/m³を越えると、挿し穂の強い萎れが発生していた（図-3）。

飽差：飽和水蒸気圧と水蒸気圧との差

(a) 平均萎れ度の経時変化

(a) 萎れ度と飽差

図-3. 挿し付け後の挿し穂の萎れと飽差との関係

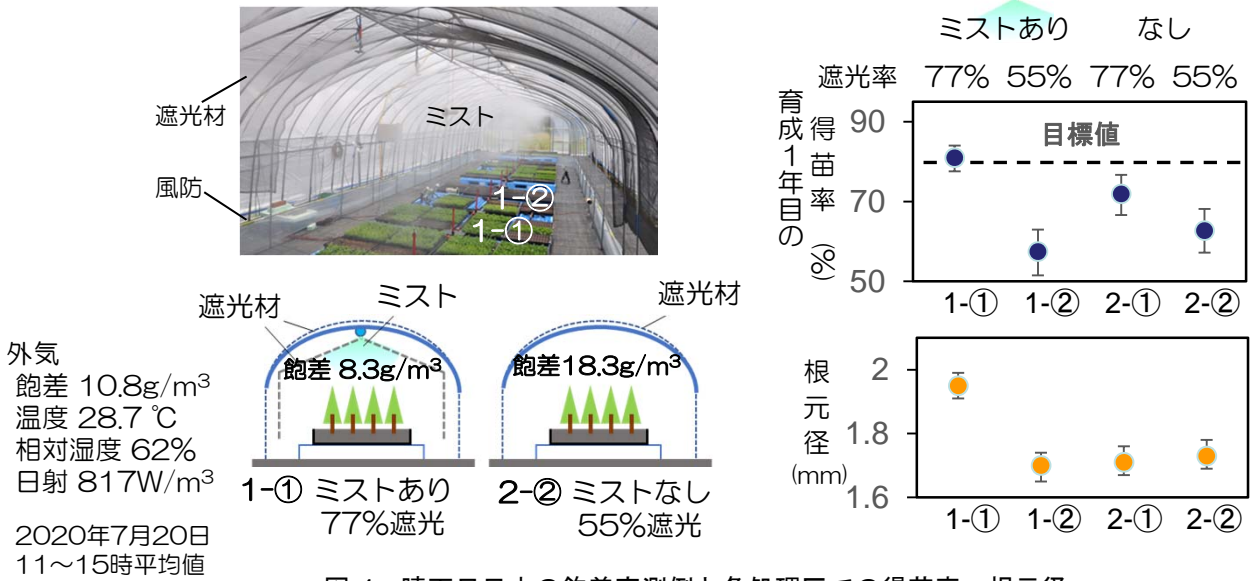


図-4. 晴天日中の飽差実測例と各処理区での得苗率、根元径

3年間のベ21処理の試験及びシミュレーションから適正なハウスの仕様と運用方法を明らかにした(図-4: 試験の1例)。

【必要事項】

飽差を低減する低圧ミストの施用〔高飽差 (>9.2g/m<sup>3</sup>) 時に3分間隔で5秒噴霧〕、75%程度の遮光、温度を抑制する外気導入(ハウス出入口・側窓の開放)、セルトレイ周りの風防設置(高さ40cm程度)、トンネル不要等(図-5)

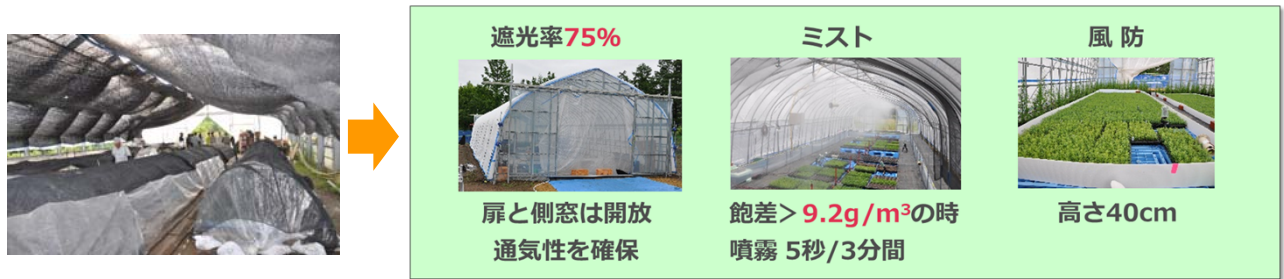


図-5. 従来一般的な栽培施設(左)と改良した栽培施設(右)

3. 農業用セルトレイ

試験①: 固化培土の比較

試験②: 苗畑試験、試験③: コンテナへの移植

ココ繊維・ピートモス混合の培土で発根・生育が良好

土付き移植で成績が向上

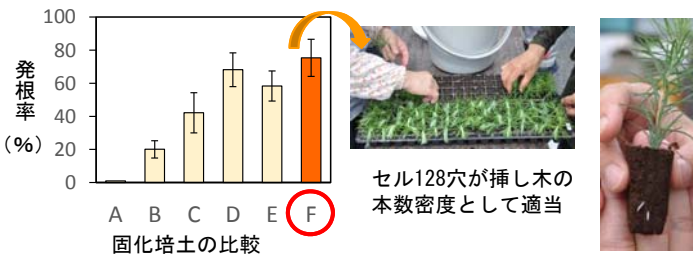


図-6. 市販固化培土別の発根率と発根後のセル苗(右)

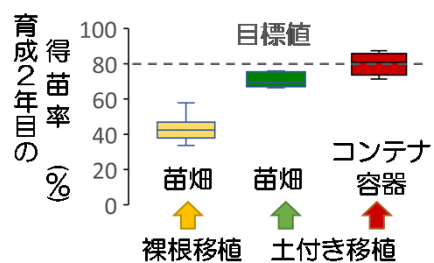


図-7. 慣行法と固化培土の移植成績の比較

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- 今博計(2020)クリーンラーチ挿し木苗の生産状況について, 山つくり, 507: 1-2
- 今博計・来田和人・黒丸亮(2021)クリーンラーチ挿し木苗の得苗率低下に影響する要因, 北海道林業試験場研究報告58: 41-49
- 立松宏一・今博計(2021)パイプハウス内環境を改善する方法, 北海道の林木育種64(1): 2~6
- 今博計・立松宏一(2022)グイマツ雑種F<sub>1</sub>における挿し付け後の穂の萎れを引き起こす影響要因, 日本森林学会誌104: 139-145

# トドマツコンテナ苗の 育苗期間短縮に向けた発芽・育苗条件の解明

担当G：保護種苗部育種育苗G  
協力機関：北海道山林種苗協同組合、北海道水産林務部林務局森林整備課  
研究期間：令和2年度～令和5年度 区分：経常研究

## 研究目的

現在4年を要するトドマツコンテナ苗の育苗期間を、3年に短縮できるか検討する。コンテナへの移植時に起こる根の損傷を、セルトレイや小型コンテナを利用して低減できるか調査する。また、生産性を高めるために必要な発芽促進処理について、温度や薬剤による事前処理の効果を評価する。コンテナ苗の更なる普及に先駆け、省力的かつ生産性の高い発芽・育苗条件を明らかにする。

## 研究方法

調査①：育苗方法の違いによる苗の成長特性の比較  
調査方法：330 ccコンテナ直接播種、50 ccコンテナ播種、12 ccセル播種(播種後30日目、90日目に330 ccコンテナに移植)、苗畑播種での実生の成長を比較した。  
測定項目：苗長、地際径、葉・シュート・根重量

調査②：発芽促進処理による発芽勢の向上効果  
調査方法：発芽促進物質としてジベレリンまたは過酸化水素を与えた種子の発芽を観察した  
測定項目：発芽数、日数

## 研究成果

○育苗方法の違いによる苗の成長特性の比較  
330 ccコンテナに直接播種した場合に苗高伸長量が最大となり、3年生時で90%が出荷規格に到達した。慣行栽培(2年生移植)の3年生時では4%だった。セルトレイや小型コンテナに播種し、根鉢を保ったまま330 ccコンテナに移植したところ、いずれも3年生時に70%以上が出荷規格に到達した(図-1)。  
苗木の蒸散能力を5月(移植直後)、8月(伸長終了後)、10月(成長期末)に測定した。移植を経験しない直接播種、根鉢を温存できる小型コンテナ移植、根系が小さいため移植時の損傷が少ない1年生移植と比較して、移植時に根系を大きく切除せざるを得ない2年生移植の苗木は葉面積あたりの蒸散量が少なかった(図-2)。2年生移植苗木は移植時の切除によって根が不足し、葉の量にみあう十分な量の水分を得られなくなるため、成長が抑制されるという仮説を裏付ける結果と考えられる。

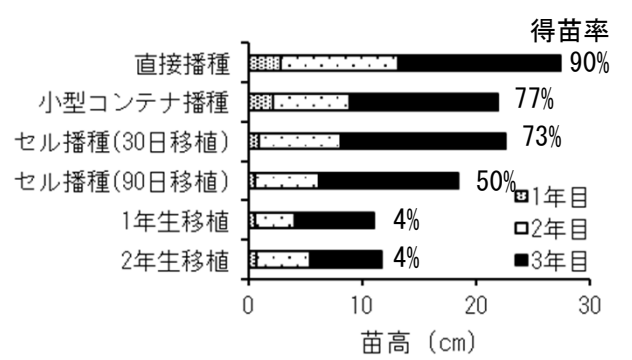


図-1 育苗方法と年間の伸長量

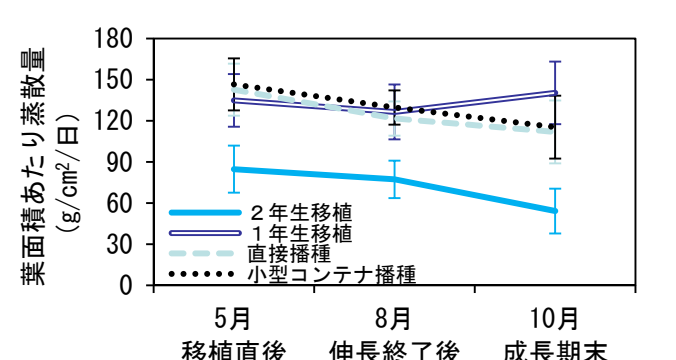


図-2 葉面積あたり蒸散量 (g/cm<sup>2</sup>/日)

○発芽促進処理による発芽勢の向上効果  
発芽促進物質の候補として2種類の物質を検討した(表-1)。低温湿層処理後の種子をそれぞれの物質の水溶液に1時間浸漬したのち、シャーレに播種した。ジベレリンを低濃度(50 ppm)で与えた処理区では対照区と比較して20日後の時点でほとんど発芽し終わり、発芽数も多かった(表-1)。過酸化水素は高濃度(100 mM)で与えた処理区において、同様の傾向が見られた。

処理	7日後	20日後	38日後
対照 (水に浸漬)	3	36	43
ジベレリン 200 ppm	0	13	18
ジベレリン 50 ppm	4	45	47
過酸化水素 100 mM	7	40	47
過酸化水素 25 mM	3	33	38

# シラカンバ人工林における上層高予測モデルの作成と 径級分布に影響する要因の検討

担当G：森林経営部経営G

協力機関：北海道水産林務部林務局森林計画課・森林環境局森林活用課

研究期間：令和3年度～令和5年度 区分：経常研究

## 研究目的

シラカンバ人工林における用途に応じた材の供給可能性を検討するため、上層高の予測モデルを作成するとともに、径級分布を分析しそれに影響する要因を明らかにする。

## 研究方法

### 使用データ

シラカンバ人工林の毎木調査データ  
(全道148林分、林齢11～60年生)  
調査方法：20m×20mプロットの毎木調査  
調査項目：樹種、胸高直径、樹高、枝下高

### 研究内容

1) 上層高に影響する立地要因（地理的要因および気象要因）の検討  
2) 立木の径級分布の解析と、径級分布に影響する要因の検討

## 研究成果

1) 上層高に影響する立地要因の検討と予測モデルの作成  
地位指数と、地理的要因および気象要因との相関分析を行ったところ、7月の日最高気温の平均値との相関が最大で、相関係数は $R=0.43$ だった(図-1)。2位は6月の日最高気温の平均値、3位は6月の全天日射量であったことから、上層高に夏の気候が影響している可能性がある。

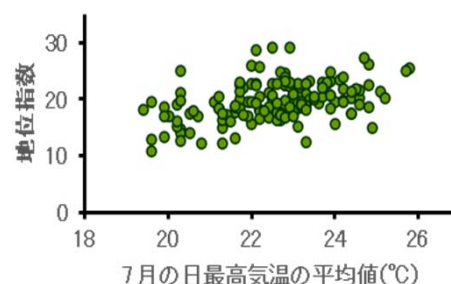


図-1 シラカンバ人工林における地位指数と7月の日最高気温の平均値との関係

2) 立木の径級分布の解析と影響する要因の検討  
各林分における径級分布に3パラメータワイブル分布を適用し、3つのパラメータ（①尺度パラメータ:分布のピーク的位置に関係、②形状パラメータ:分布の形状を決定、③位置パラメータ:調査林分の最小径級に関係）を求めた(図-2)。カイ二乗検定の結果、いずれの箇所でも5%水準で有意差は認められず、実測値に精度よく適合していることを確認した。各パラメータと諸要因との関連を調べたところ、位置パラメータと尺度パラメータ(図-3左)は林齢とともに増加する傾向があったが、形状パラメータには明瞭な傾向はなかった(図-3右)。

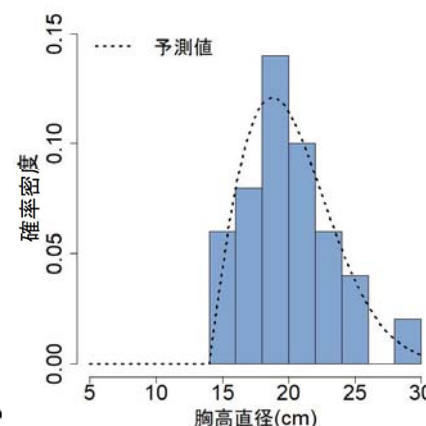


図-2 直径分布のヒストグラムと、ワイブル分布のあてはめの例

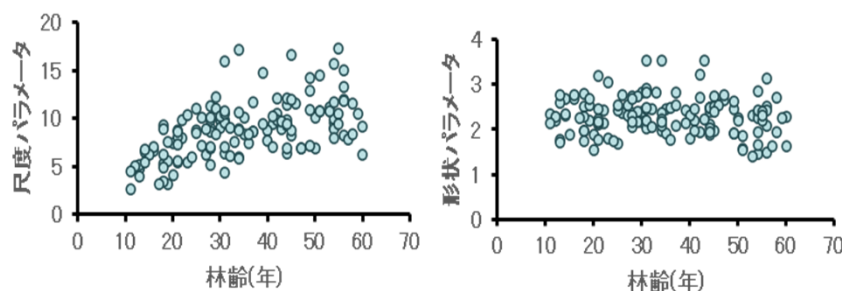


図-3 ワイブル分布の尺度パラメータ（左）および形状パラメータ（右）と林齢の関係

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

・内山和子・大野泰之・滝谷美香・角田悠生・山田健四 (2023) シラカンバ人工林の直径分布に対するワイブル関数の適用. 第134回日本森林学会大会(オンライン開催)

# カラマツ類及びトドマツの種苗配置適正化と優良品種導入による炭素吸収量増加効果の評価

担当G：森林経営部経営G、保護種苗部育種育苗G

共同研究機関：(国研)森林総合研究所北海道支所、

(国研)森林総合研究所林木育種センター北海道育種場、東京大学

研究期間：令和4年度～令和6年度

区分：重点研究

## 研究目的

北海道は温室効果ガス排出量の2050年での実質ゼロを目指し、森林の炭素吸収量の目標を2030年に850万t-CO<sub>2</sub>とし、2050年に向けて更なる増加が求められている。しかし、人工林の約8割を占めるカラマツ類及びトドマツは高齢化により炭素吸収量が減少しており、伐採・再造林による炭素吸収量の増加が課題である。そこで、カラマツ類及びトドマツ種苗における将来の気候を見越した現行種苗の適正配置の解明とともに、トドマツの高吸収品種を選抜し、それらによる炭素吸収量の増加効果を長期予測によって明らかにする。

## 研究方法

① 将来の気候を見越した林分成長モデルの構築  
気候要素等の環境情報を1km<sup>2</sup>メッシュで整備し、両樹種の生育状況の現地調査・資料整理とあわせ、気候要素から成長量を予測するモデルを構築する。

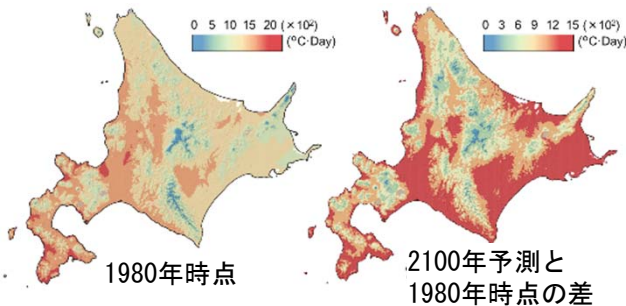
② トドマツにおける炭素吸収量の高い優良品種の選抜  
道内各地域に設定し、遺伝的特性を評価する適齢を迎えた次代検定林の資料分析から、成長・材質に関する遺伝的特性を算出し、高吸収品種を選抜する。

## 研究成果

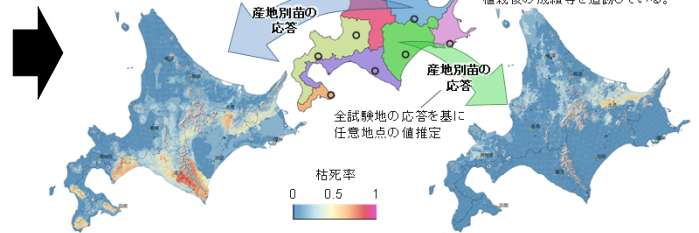
### 1) 将来の気候を見越したカラマツ類・トドマツ種苗の林分成長モデルの構築

● 林木の成長に関わる気候変数を、気候モデルとシナリオを基に1980～2100年まで整備した。

● トドマツの産地毎の枯死率と現在の気候変数との関係を分析し、各地に植栽した際の枯死率を推定した。

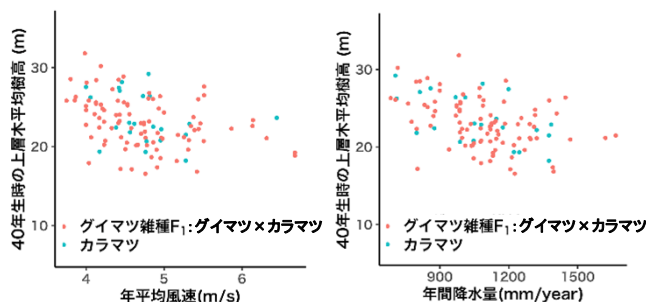


整備した気候変数の一例(有効積算温度)  
※2100年予測値はMIROC5モデル、RCP8.5シナリオ(追加的な緩和策をとらなかった場合)での推定



トドマツ産地別苗木の推定枯死率の地理的傾向  
※解析した7地域(凡例参照)のうちオホーツク(青)と十勝(緑)を産地とする苗木を例に、任意の植栽先での枯死率を可視化

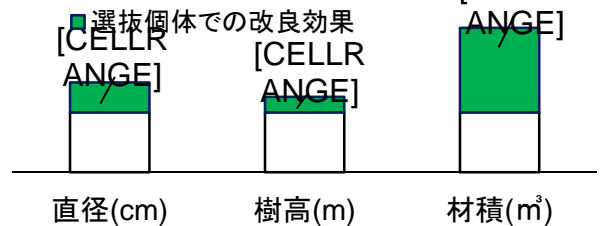
● 道内各地でのカラマツ類の成長量を調査し、気候変数との関連を分析した。



カラマツ類における上層木平均樹高と気候との関係

### 2) トドマツのCO<sub>2</sub>高吸収品種の選抜

十勝のトドマツ次代検定林(40年生)から、林分平均より高い成長を示す個体を20個体選抜した。



選抜個体に期待される改良効果  
※改良効果=(選抜個体平均-林分平均)/林分平均

## 研究成果の公表(文献紹介や特許など)

石塚航ら(2023) 第134回日本森林学会大会、令和4年度 第3回北海道林業用種苗需給連絡会議への情報提供