

UAVを活用した低コスト森林調査手法の研究

担当G：道北支場

共同研究機関：工業試験場情報システム部

協力機関：北海道水産林務部森林環境局森林活用課・林務局森林計画課、
石狩振興局森林室普及課、当別町

研究期間：平成30年度～令和2年度

区分：経常研究理事長枠

研究目的

UAVを活用した、空撮技術及び撮影写真の画像認識技術を応用することにより、林業現場で普及可能な、容易かつ低コストに広範囲の森林資源情報を取得できる森林調査手法を検討する。

研究方法(調査地概要や調査方法)

調査地：トドマツ人工林について昨年度の6林分に加えて、下川町1林分、上川南部道有林1林分、当別町2林分計10林分(林齢34～61年生)
カラマツ人工林について、芽室町4林分、陸別町3林分、中頓別町1林分、和寒町1林分の9林分(林齢28～50年生)

内容：

1. トドマツ、カラマツそれぞれについて、機械学習の樹冠領域推定用データセットを構築・拡充
2. 機械学習アルゴリズムの改良
3. 昨年のトドマツ人工林2林分の毎木調査データを使って胸高直径推定モデル作成

研究成果

1. 機械学習用データセットについて

トドマツ12,766本、カラマツ3,724本を新たに作成した。さらに、オルソ画像に加えDSM※の値を用いて学習・推定が可能なデータセットへ拡張した(表-1)。

表1：機械学習用の樹冠領域数

樹種	平成30年度		令和元年度	
	林分(箇所)	樹冠(個)	林分(箇所)	樹冠(個)
トドマツ	3	3,338	4	12,766
カラマツ	0	0	6	3,724

2. 機械学習アルゴリズムの改良

機械学習による領域分割手法について、DSM入力に対応できるように改良した。これによって、平面のオルソ画像にDSMの深度情報を加えて、立体的な情報から樹冠領域が推定可能であることを確認した(図-1)。

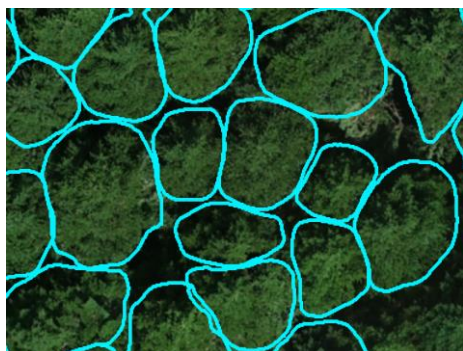


図-1：機械学習により推定した樹冠領域

3. トドマツ胸高直径推定モデル作成

機械学習による推定樹冠領域面積と推定樹高からDBHを推定する統計モデルを作成した。このモデルによる推定精度をモデルの作成に使用していない林分で検証した結果、単木DBH(n=28)を誤差(RMSE)3.2cmで推定できた(図-2)。

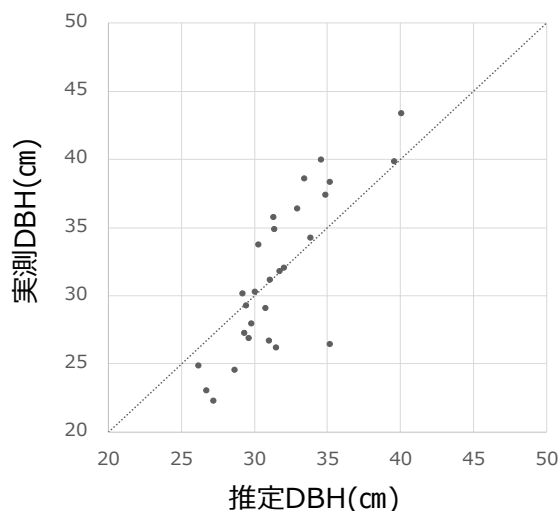


図-2：単木ごとのDBH推定精度

※DSM：数値表層モデル(Digital surface model)の略。森林表面部分も含む標高。

※DBH：胸高直径

※RMSE：平均平方二乗誤差

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- ・竹内史郎・近藤正一・滝谷美香・全慶樹・藤澤怜央・堀武司・蝦名益仁・菅野正人・渡辺一郎・新田紀敏・大野泰之・刈馬俊之(2020) UAVと機械学習を利用した針葉樹単木検出およびDBH推定。第131回日本森林学会大会口頭発表
- ・竹内史郎(2019) UAVを活用した森林調査手法。グリーンテクノ情報 Vol.15 No.1 p23-27

合板用カンバ材の供給・利用可能性の評価にかかる実証試験

担当G：森林経営部経営G

共同研究機関：丸玉木材（株）

研究期間：令和元年度～2年度

区分：共同研究

研究目的

カンバ小径材から切削された単板の品質や強度が調査され、合板等への利用可能性が示されているものの、伐採されたカンバ類がどの程度、合板向けに利用できるのか、その歩留まりについての知見は非常に少ない。そこで、合板向けに利用可能なカンバ原木の形質を実証試験を通して明らかにするとともに、それらの原木が効率的に収穫可能な林分の条件（立木密度や径級分布など）を抽出する。

研究方法(調査地概要や調査方法)

調査地

- 道有林上川北部管理区
- 林分1：名寄市（不成績造林地）
- 林分2：名寄市（かき起こし施行地）
- 林分3：美深町（シラカンバ人工林）

調査内容：

- 毎木調査（胸高直径、樹高、枝下高の測定）

研究成果

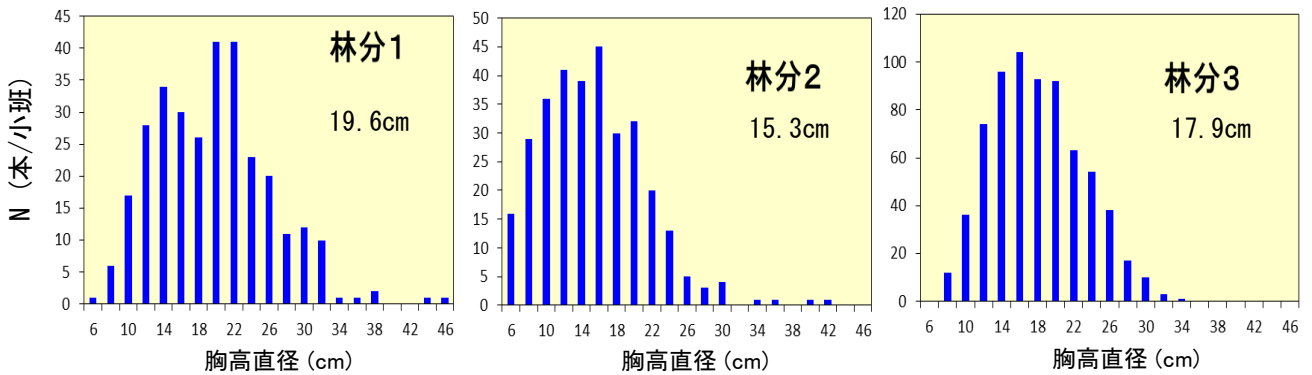
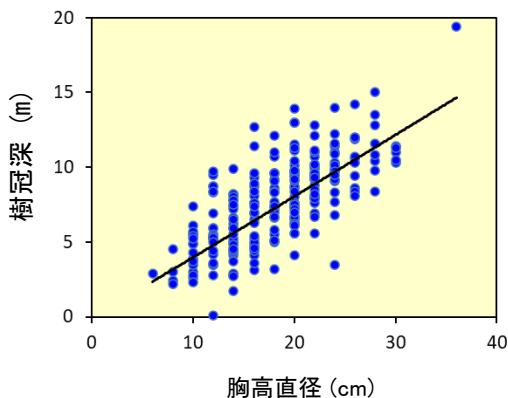


図-1 実証試験で伐採されるシラカンバの胸高直径階別の本数分布



実証（伐採）試験を実施する3林分におけるシラカンバの平均胸高直径は15.3～19.6cmであり、いずれの林分でも一山型に近い径級分布を示していた（図-1）。

シラカンバの胸高直径と樹冠深との間には正の相関が認められ（図-2）、胸高直径が大きい個体ほど大きな樹冠深を有していることを示していた。

図-2 シラカンバの胸高直径と樹冠深との関係
樹冠深は樹高から枝下高を差し引いた長さ。
3つの林分にそれぞれ設置した試験地のデータを込みにして作図。

引用等の著作権法上認められた行為を除き、林業試験場の許可なく引用、転載及び複製はできない

多時期の衛星画像を利用した針葉樹人工林の抽出技術の開発

担当G：森林経営部経営G

協力機関：北海道水産林務部森林環境局道有林課・林務局森林計画課

研究期間：令和元年度～3年度 区分：経常研究

研究目的

市町村単位以上の範囲を対象として針葉樹人工林の成林状況を低コストで的確に把握できるようにするため、カラマツおよびトドマツの抽出に適した衛星画像の撮影時期や解析手法を明らかにする。

研究方法

調査地について等

調査地：当別町、光珠内実験林

使用衛星画像：Sentinel-2

WorldView-2

Pleiades

調査項目

1. 衛星画像の撮影時期による樹種毎のスペクトル特性の把握
(現地調査等による検証データ作成、衛星画像の分析)
2. 多時期の衛星画像による林相分類手法の検討
(衛星画像による樹種分類、精度検証)

研究成果

1. 衛星画像の撮影時期による樹種毎のスペクトル特性の把握

当別町の東部地域を対象に、3時期の高分解能衛星画像(2019.04.28撮影Pleiades、2019.05.24撮影WorldView-2、2018.10.22撮影Pleiades、分解能すべて0.5m)の目視判読により、精度検証用の林相区分図を作成した(図-1)。針葉樹人工林はほぼトドマツでカラマツはほとんど存在しないことが確認された。トドマツと広葉樹天然林で特に4月と10月の衛星画像の色調が異なっていたが、10月下旬は太陽高度が低いため、北斜面の森林が影となりやすく判読が難しいことが判明した。

2016年4月から2019年5月に取得したSentinel-2衛星画像のNDVI(※)を計算し、既知の林相区分ごとと比較した。4月はトドマツとカラマツ・広葉樹との差が大きく、5月と7月は針葉樹と広葉樹に差があることが示された。落葉期の11月はトドマツと広葉樹に差があるものの、場所によって値のばらつきが大きいことがわかった(図-2)。

※ NDVI(正規化植生指数)：植生の分布状況や活性度を示す指標で、衛星画像の赤バンドと近赤外バンドの反射輝度値から次の式で計算する($NDVI = (\text{近赤外} - \text{赤}) / (\text{近赤外} + \text{赤})$)

2. 多時期の衛星画像による林相分類手法の検討

Sentinel-2画像から計算したNDVIからトドマツ林抽出を試みた。

2019.04.13撮影Sentinel-2画像から計算したNDVIが0.45以上の区域を図-3に示す。落葉広葉樹が開葉する前の4月の画像についてNDVIの閾値を設定することでトドマツ林の分布を推定できることが示された。

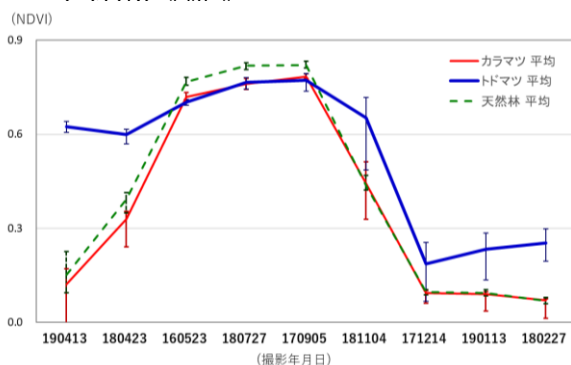


図-2 NDVIの季節変化(実験林)
(バーの幅は最大値、最小値を表す)

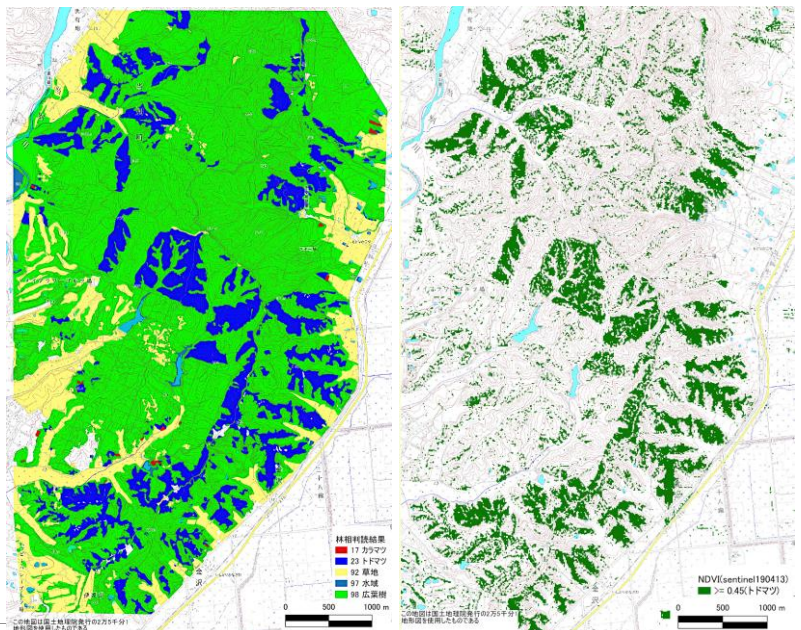


図-1 林相区分図

図-3 NDVIの閾値によるトドマツの抽出
(2019.04.13撮影Sentinel-2衛星画像から計算)

クリーンラーチ若齢採種園の成長と着花に及ぼす 施肥の効果検証

担当G：保護種苗部育種育苗G

協力機関：オホーツク総合振興局東部森林室

研究期間：平成28年度～令和2年度 区分：経常研究

研究目的

クリーンラーチ（グイマツ精英樹・中標津5号を母親、カラマツ精英樹を父親とする雑種F₁）の若齢採種園の肥培管理方法を提示するため、グイマツとカラマツの若齢接ぎ木クローンを対象に、施肥の種類と施肥の回数を変えた試験を実施し、成長と着花と球果サイズに及ぼす施肥の効果を検証する。

研究方法

調査地：訓子府採種園
処理項目：尿素（窒素単肥）散布、まるやま3号（窒素・リン・カリウムの複合肥料）散布

処理方法：6月に接ぎ木苗の根元へ粒剤散布
調査項目：土壌化学性分析
グイマツ中標津5号の着果調査

研究成果

訓子府採種園の土壌は、火山放出物由来の黒ぼく土であり（図-1）、リン酸吸収係数が高く（1,500以上）リンが欠乏状態にあること、無機態窒素も少ないことがわかった（表-1）。また、他県のカラマツ採種園と比べてもリンと窒素が低いレベルにあった。

表-1 カラマツ採種園の土壌化学性

施肥管理あり

項目	単位	訓子府	山梨県	長野県	岩手県	参考基準値
pH	—	5.9	6.2	5.6	5.5	5.5～6.0
アンモニア態窒素（AN）	mg/100g	0.6	1.6	2.7	3.0	5.0
硝酸態窒素（NN）	mg/100g	0.7	1.1	0.3	0.2	
有効態リン酸（P ₂ O ₅ ）	mg/100g	1.2	<5.0	3.0	10.4	10～20
交換性カリ（K ₂ O）	mg/100g	18.4	11.1	13.5	25.4	15～30
交換性苦土（MgO）	mg/100g	23.3	—	—	—	25～40
交換性石灰（CaO）	mg/100g	246.3	—	—	—	170～350
リン酸吸収係数	—	1,583	—	—	—	—

参考基準値は北海道でりんご栽培を行う場合の望ましい基準（北海道農政部）

他県の採種園の土壌データは、「カラマツ種苗安定供給のための手引き2019年」から引用



図-1 訓子府の土壌断面

窒素単独の施用（尿素）は、グイマツの着果促進にマイナスの効果がみられたが、リン、カリウムを加えた施用（まるやま3号）にはプラスの効果がみられ（図2）、土壌化学性分析の結果を反映していた。

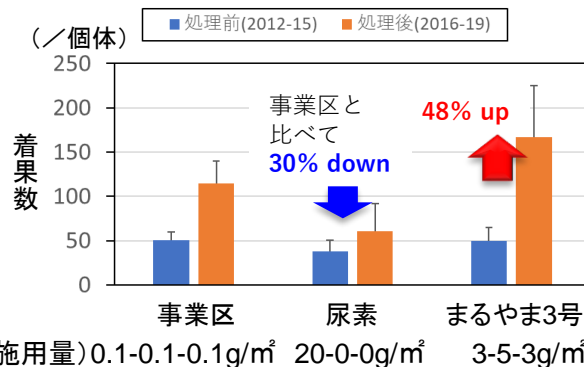


図-2 グイマツの施肥前後の着果数の比較

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

平成30年度採種園管理技術研修会、H30年5月25日、訓子府採種園

気候変動の影響緩和を目指した北方針葉樹の 環境適応ゲノミクス

担当G：保護種苗部育種育苗G

共同研究機関：東京大学、森林総合研究所、森林総合研究所 北海道支所

協力機関：明治大学

研究期間：平成28年度～令和元年度

区分：公募型研究

研究目的

寿命の長い樹木では、現在進行しつつある気候変動に迅速な対応ができず、成長パフォーマンスの低下といった負の影響も見込まれる。しかし、造林に用いる種苗の産地や母樹を適切に選択し、将来環境にも適応しうるゲノム組成を有する森林へと更新を図ることができれば、予想される気候変動の影響を緩和できる可能性がある。そのためにも、環境適応に関する遺伝的基盤の解明といった基礎的知見の集積が求められる。本研究では、急速に技術革新が進む分子遺伝学（ゲノミクス）分野の手法を適用させ、環境適応の遺伝的基盤解明とその応用を目指す。

研究方法(材料と調査方法)

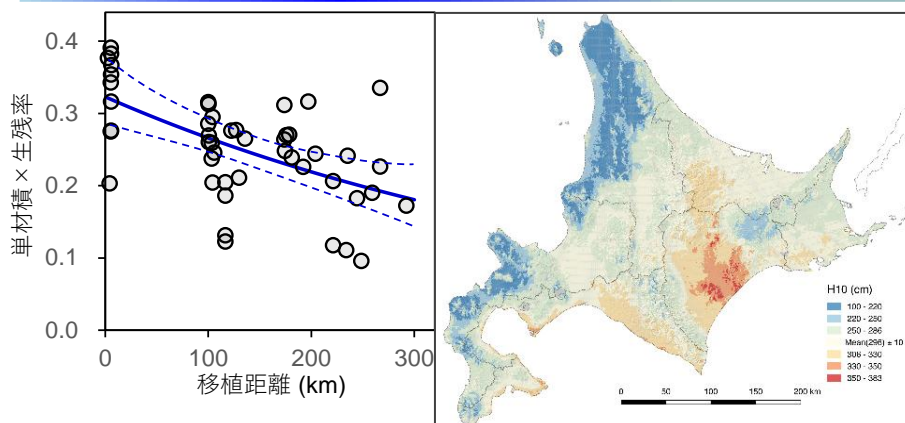
材料（調査地）：

- (1) トドマツ精英樹次代検定林
1980年に全道9ヶ所へと延べ75家系を植栽した検定林、および、地域間で相互交配した次代を1983年に植栽した検定林。
- (2) 交配第2世代（F₂）植栽試験
詳細な遺伝解析のために人工交配によって作出し、2017年に植栽したF₂試験地。

調査方法・実験方法：

- (1) 遺伝的な地域適応の評価；長期データおよび全検定林データの揃う10年時データを用いた解析
- (2) F₂集団を用いた適応形質の遺伝的基盤の評価；地域適応を担う形質の追加検証と遺伝解析
- (3) 自生集団を用いた遺伝的変異の評価；中立遺伝マーカーを用いた遺伝的多様性の地理的傾向の解明、および、局所適応する候補集団の探索

研究成果



左図. 根釧地域の検定林における35年生時の植栽パフォーマンスと自生地域からの移植距離との関係。右図. 根釧地域産種苗を用いた場合の10年生樹高予測図。左図では、移植距離の負の効果を表す回帰線を重ねて示す。右図では、青色ほど樹高が低いことを、赤色ほど高いことを表し、明瞭な地域性を見ることができる。

- (1) **地域適応** 自生地域から遠方への植栽は成長・生残両面に負の効果があることを示した(左図)。全道の環境データを用いて、植栽応答予測図を作成し(右図)、現在の需給区分が概ね妥当だと結論づけた。
- (2) **適応形質** シュートの枝形態の変異が支持力、水輸送能の違いと関わる適応形質とみられ、関連遺伝子座を検出することができた。
- (3) **遺伝構造** 低い遺伝的多様性を示した南限域で新たな遺伝資源集団を発見した。

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

Kitamura K., Uchiyama K., Ueno S., Ishizuka W., Tsuyama I. and Goto S. (2020) Geographical gradients of genetic diversity and differentiation among the southernmost marginal populations of *Abies sachalinensis* revealed by EST-SSR polymorphism, *Forests*, 11, 233

石塚航・阿部友幸・蝦名益仁・早坂一文・成田あゆ・今博計・長坂有・鳥田宏行 (2020) トドマツの風害抵抗性に関わる諸要因と地域間差異の検討, 北海道林業試験場研究報告, 57, 13-24.

石塚航 (2020) 北方の樹木の南限を訪ねる, *森林科学*, 88, 42.

石塚航・今博計・来田和人 (2019) 台風被害にみられたトドマツの産地間差異, *日本森林学会誌*, 101, 82-87.

菅井徹人・石塚航・渡部敏裕 (2020) トドマツ苗木の個葉光応答に関する表現型可塑性の種内変異, 第67回 日本生態学会大会

石塚航・北村系子・原登志彦・後藤晋 (2019) トドマツ葉緑体ゲノムの解読と種内変異の評価, 森林遺伝育種学会第8回大会

森林経営の効率化のための崩壊リスクを考慮した 路網管理手法の提示

担当G：道南支場、保護種苗部育種育苗G、森林環境部環境G、森林経営部経営G
 協力機関：厚真町、中川町、北海道水産林務部、(一社)北海道治山林道協会
 研究期間：平成28年度～令和元年度 区分：経常研究

研究目的

林業を行う上で重要な生産基盤である林内路網の整備では、耐久性と低コスト性の両立が求められる。しかし、林内路網の崩壊危険度は、現状では技術者の経験に依存した状況にあり、崩壊危険度の事前予測に基づくルート設定手法や、路線崩壊による林業収益等への影響評価手法は確立していない。そこで、本研究では、林内路網のうち主に森林作業道及び林業専用道を対象とし、モデル地区の林内路網に対する崩壊リスクと森林経営の効率化を考慮した路網管理手法を提示した。

研究方法(調査地概要や調査方法)

①既設路網での崩壊状況の実態調査：既設路網で発生した崩壊箇所の規模・土質、路体構造を現地調査し、崩壊要因を分析(調査地：芦別、赤平、三笠、岩見沢、浦臼、当別、月形、新十津川、美唄、奈井江、厚真、中川、浦河、浦幌、津別、上ノ国、松前、福島)

②費用便益分析による経済的な対策内容分析：路線上の崩壊危険箇所を抽出し、各箇所の崩壊対策実施による集材費縮減効果(便益)、及び対策方法(事後保全：原形復旧、予防保全：暗渠工・洗い越し工)毎の費用を比較し、最適な崩壊対策方法を評価

研究成果

1) 既設路網での崩壊状況の実態調査

- 【調査・分析方法】合計287箇所の路網崩壊箇所を確認し、地形や路体構造等を調査した。また、崩壊箇所より原則100m以上離れた未崩壊箇所(157箇所)を対照区として調査した。調査結果に対し、盛土側、切土側の法面崩壊の有無を応答変数とした決定木分析を行い、崩壊要因を分析した。
- 【結果1】切土法面では路体構造が主な要因であり、3m以上の法面高で崩壊の危険性が高いと推定された(図-1)。
- 【結果2】盛土法面では地形条件が主な要因であり、集水型地形でかつ攻撃斜面(河川蛇行部の外側に面する斜面)、または法面高が3m以上の箇所で崩壊の危険性が高いと推定された(図-2)。

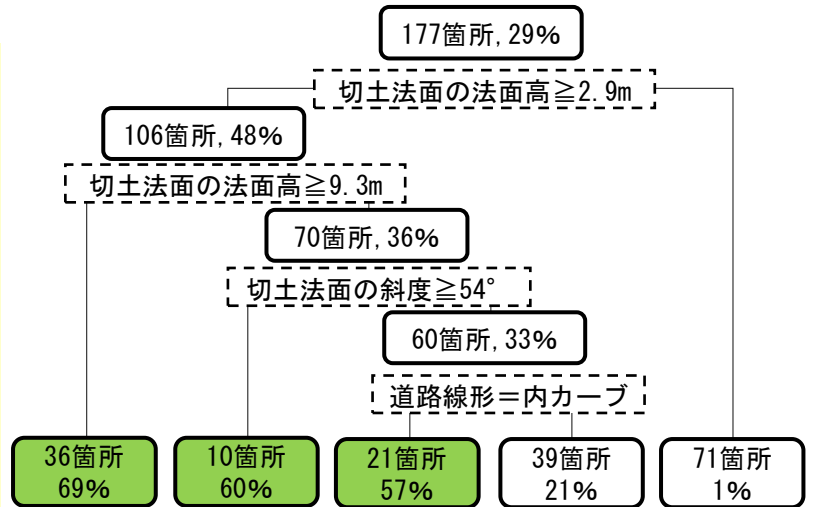


図-1 崩壊要因解析結果(切土法面)

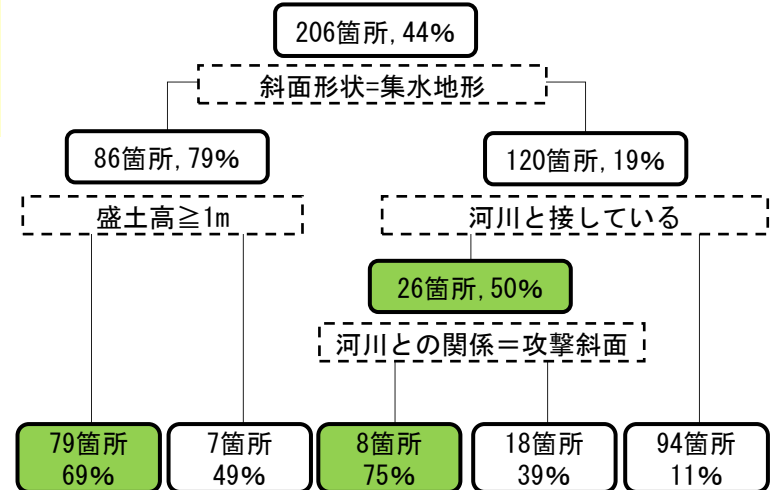


図-2 崩壊要因解析結果(盛土法面)

【図の見方】

実線枠：調査箇所分類の分岐点
 点線枠：分岐の条件。条件に適合した場合、左の分岐へ進む

【分岐点の数値の見方】

箇所数(箇所)：分岐点に含まれる調査箇所数
 割合(%)：崩壊地の割合
 緑色の分岐点：分岐に含まれる崩壊箇所の割合が50%以上

2) -1 崩壊対策による便益計算

・【調査・分析方法】厚真町有林をモデル地区とし、地形解析から崩壊危険箇所を抽出した。次に、林内路網のネットワーク分析により、各崩壊危険箇所を通過する材積及び崩壊した際の迂回距離を算出し、各箇所では崩壊対策をした際の便益（最短経路を進めたことでの集材費縮減効果の現在価値）を分析した。

・【結果】土場近傍の危険箇所の便益が大きいことが明らかとなった（図-3）。当該地区では、土場に接続する作業道が少ないため、当該箇所を回避しようとする大幅に迂回距離が大幅に伸びてしまう。このため、土場や林業専用道の配置の工夫で集材経路を工夫し集材経路を分散化・複線化することで、路網崩壊による集材距離への影響を回避できる。

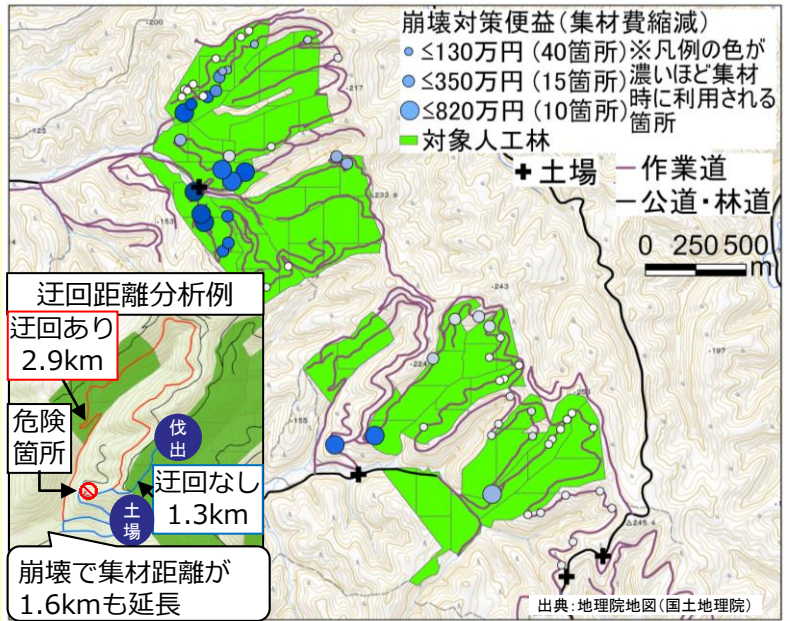


図-3 抽出された崩壊危険箇所と崩壊対策の便益

2) -2 費用便益分析による経済的な崩壊対策分析

・【調査・分析方法】集水地形での崩壊対策を①崩壊毎に原形復旧（事後対策）、②暗渠工（土管の敷設）、③洗い越し工の3種類とし、斜度と崩壊回数を基に算出した対策費用の現在価値から最も経済的な対策を分析した。次に、厚真町有林内で抽出された崩壊危険箇所について崩壊対策の費用便益分析を行い、最も経済的な対策を分析した。

・【結果】崩壊頻度が高い場合は事前対策（対策②や対策③）が経済的であった（図-4）。崩壊対策での便益が対策費用以下の箇所（図-5中「迂回路活用」の箇所）では、路網敷設時に崩壊危険箇所を回避することが重要であった。そして、各箇所での経済的な対策を崩壊頻度に合わせて選択することで、長期的な事業費の削減が可能となる（図-6）。

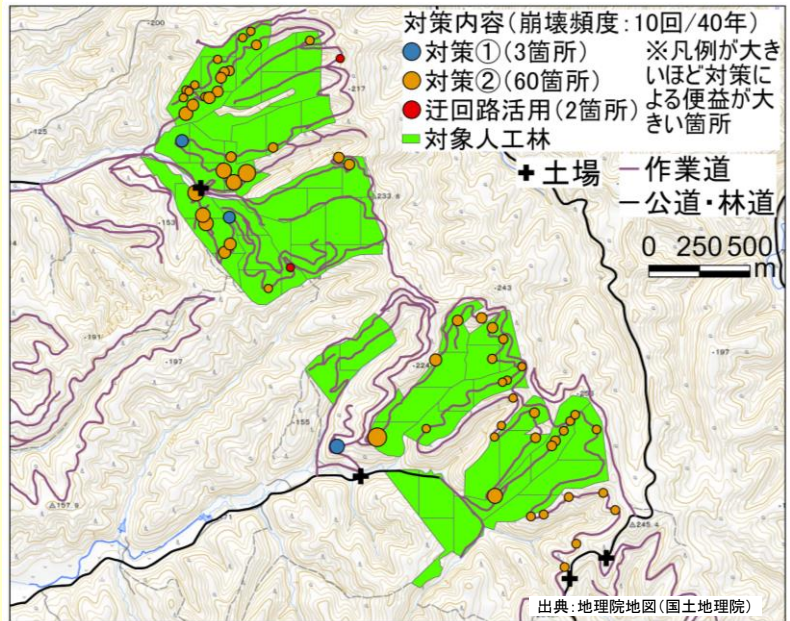


図-5 崩壊危険箇所における費用便益分析で選択された対策内容 ※対策に係る土工・費用単価は、北海道(2019)造林事業標準単価(森林作業道関係分)を基にした

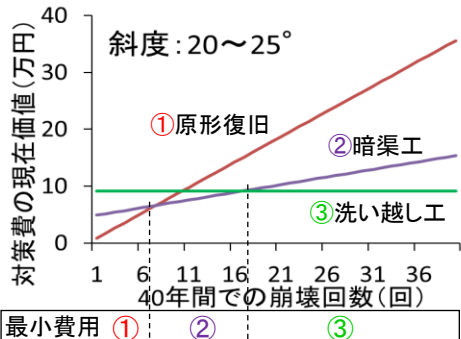


図-4 崩壊頻度毎の対策費現在価値 (斜度20~25°の場合)

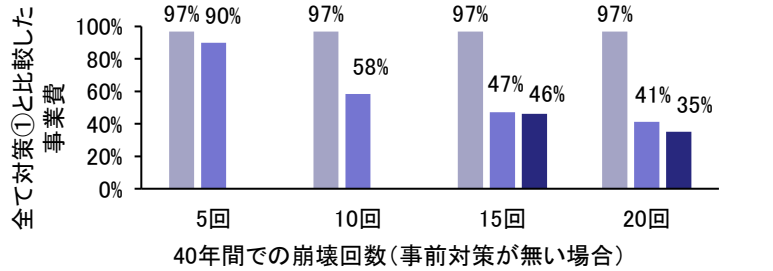


図-6 各対策導入による事業費の削減効果

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- ・津田高明・佐藤弘和・蓮井聡・対馬俊之（2019）その路線は崩壊対策すべき？費用便益分析による要対策箇所の抽出方法の検討。第130回日本森林学会大会 新潟県
- ・津田高明・佐藤弘和・対馬俊之・岩崎健太・蓮井聡（2018）路網崩壊による集材距離への影響度を基にした崩壊対策箇所の優先度評価。第129回日本森林学会大会 高知県

成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発

担当G：森林経営部経営G、保護種苗部育種育苗G、道北支場

共同研究機関（協力機関）：森林総合研究所（主管）、三井物産フォレスト（株）、
（北海道水産林務部）

研究期間：平成30年度～令和4年度 区分：公募型研究

研究目的

カラマツ類の優良育種苗（エリートツリー）に対応した植栽・保育技術を開発するため、エリートツリーの成長と競合植生、立地環境との関係などを調査し、植栽密度や下刈りスケジュールなどの施業モデルを環境条件に応じて提案する。

研究方法(調査地概要や調査方法)

育苗試験：林業試験場構内（育苗試験：10処理）
植栽試験：カラマツ類植栽試験地（浦幌町）
・植栽密度：1600本/ha（クリーンラーチ、グイマツ雑種F₁(F₁)、カラマツ)

【方法】
育苗試験：グルタチオン等の施用試験（10処理）
植栽試験：植栽木の樹高測定、生存状況調査、植生調査

研究成果

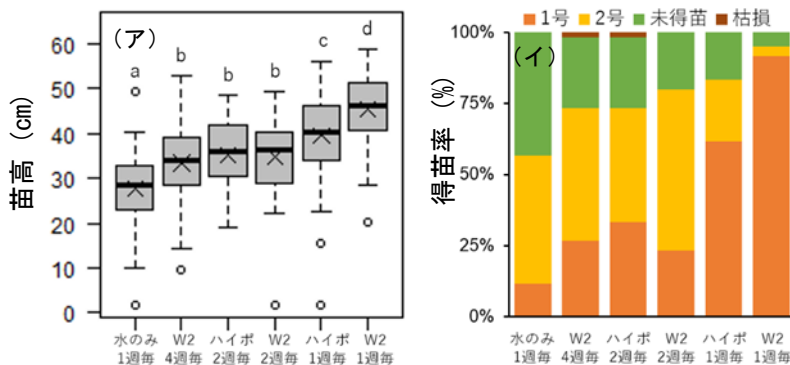


図-1 グルタチオン15%含有肥料(W2)または非含有肥料(ハイポネクス(ハイポ))を1, 2, 4週毎に与えたクリーンラーチ苗木の平均苗高 (ア) と得苗率(イ)
異なるアルファベットは多重比較検定において平均値に有意差があることを示す。

グルタチオンの施用方法によって播種1年目のクリーンラーチの樹高成長は大きく異なり(図-1ア)、最も成績の良かった方法では、播種1年目で95%の苗木が出荷規格に達した(図1-イ)

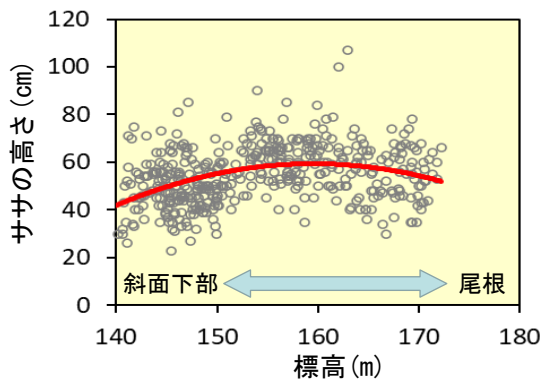


図-2 カラマツ類植栽試験地（浦幌町）における標高とササの高さとの関係

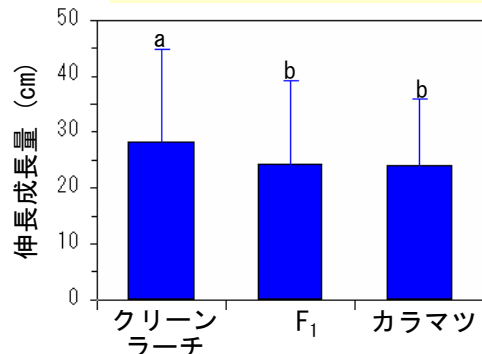


図-3 カラマツ類植栽試験地（浦幌町）における植栽当年の植栽木の伸長成長量
アルファベットの意味は図-1と同じ。

- ・カラマツ類植栽試験地における主要な競合植生はササであり、その高さは斜面中腹で最も高かった(図-2)。
- ・植栽当年のクリーンラーチの伸長成長量は、競合植生からの被覆の程度が同じ場合、F₁、カラマツと比較して大きな値を示した(図-3)

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- ・大野泰之 他4名 (2020) 育苗方法の違いは植栽当年のカラマツ類の成長と死亡に影響するのか？ (第131回日本森林学会大会)
- ・成田あゆ 他3名 (2020) クリーンラーチ(グイマツ雑種F₁)コンテナ育苗におけるグルタチオン施用効果 (第131回日本森林学会大会)
- ・大野泰之 他4名 (2019) カラマツ類幼齢人工林における植栽木の生残と成長 (光珠内季報No192)

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に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（ニホンカラマツ、グイマツ雑種F₁）を対象として、初期成長を用いた早期選抜と、DNA解析を用いた交配家系推定による特定家系選抜を行うための技術開発を本課題の中で目指す。本年はとくに、既存データを用いた年次間の遺伝相関の検証と、若齢時の成長形質に及ぼす遺伝・環境の効果の推定および評価を行う。

研究方法(調査地概要や調査方法)

材料：

- (1) 既存のグイマツ雑種F₁検定林
造成地：新冠、造成年：1974年、親系統数：20、供試データ：5～31年生時毎木調査資料
- (2) 既存のグイマツ雑種F₁検定林
造成地：富良野市、造成年：2006年、母樹系統：グイマツ1系統、父親系統：採種園内の不特定カラマツ（open家系）、供試データ：10年生時の毎木調査資料

調査方法：

- (1) 早期選抜可能性の評価；各年次の成長形質を用いた育種価（対象形質の遺伝的特性を示す値。次世代の形質の改良程度を示す期待値にもなる）の推定、年次間の遺伝相関算出と評価。
- (2) 特定家系選抜の可能性評価；全植栽個体の空間情報の整備、空間構造を考慮した育種価の推定。ならびに、採種園における花粉親候補からのDNA抽出と遺伝子型の判定、親子解析。

研究成果

- (1) 早期選抜可能性の評価 通常の選抜齢の半分の齢でも高い精度で遺伝的特性を把握でき、早期選抜の有効性を示した（図-1）。一方、若齢（5年生）時の選抜では精度に課題があった。

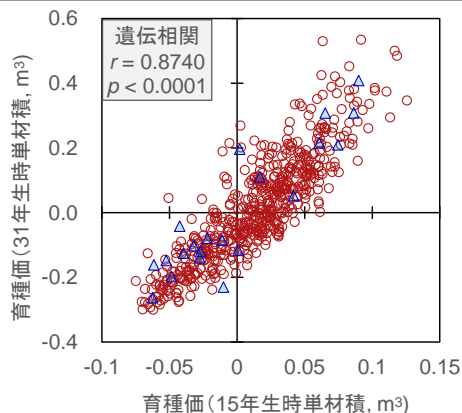


図-1. 単材積における遺伝相関

丸印が子、三角印が親の育種価で、15、30年生時の値を用いた。Aが育種価、Bが環境効果を示し、青色が負、赤色が正の効果を示す。

- (2) 特定家系選抜に向けた評価 立地条件に起因する空間的な成長の偏りがみられ（図-2B）、環境効果を考慮した上で遺伝的特性を把握することができた（図-2A）。有用な親家系の絞り込みに活用できるとみられた。

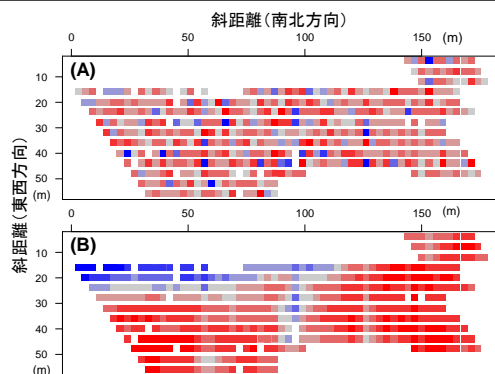


図-2. 植栽個体の空間的位置と遺伝・空間変量

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

石塚航・今博計・来田和人・黒丸亮・後藤晋 (2020) 若齢グイマツ雑種F₁における空間構造を考慮した遺伝パラメータの推定, 第131回日本森林学会大会
石塚航・松尾歩・陶山佳久・新田紀敏・田畑あすさ・小野清美・原登志彦 (2020) 植物標本とマルチシーケンス技術が紐解く北方樹種グイマツの系統分化と利用, 第67回日本生態学会大会

木材需給の変動要因分析と 需給変動への対応策に関する研究

担当G：道南支場、森林経営部経営G

共同研究機関：林産試験場（主管）

研究期間：平成30年度～令和2年度

区分：経常研究

研究目的

道内の木材需給には①原木需給のミスマッチ解消（短期的な課題）、②原木供給・利用体制の整備（中長期的な課題）という2つの課題がある。①については、林業-製材業の情報共有が有効であるが、林業事業者が伐採計画の策定時に必要としている木材需要情報に関する知見はない。本研究では、林業事業者が伐採計画の策定時に必要な木材需要情報を明らかにするとともに、道内の木材需要の短期的な予測手法の構築および対応策の提案を行う。また、木材利用量の増加に必要な原木供給・利用体制の整備水準を示す。

研究方法(調査地概要や調査方法)

①林業事業者の原木需要への対応状況
道内の林業事業者に聞き取り調査を行い、伐採計画策定での考慮項目（木材需要の情報等）や項目毎の重要度、伐採計画の変更可能時期を明らかにする。

②林業労働力からみた素材生産能力の推定
林業事業者の人員体制や機械稼働率等を調査し、現時点の素材生産能力を分析する。また、労働生産性の改善等による増産可能性を分析する。

研究成果

1) 林業事業者の原木需要への対応状況

・【調査・分析方法】素材生産現場での作業システムや流通先に関するアンケート調査を民間素材生産業者（計378社）に対して実施し、163社から回答を得た（有効回答率：43%）。これに前年度実施した森林組合への調査（79組合中74組合から回答）を含めて分析した。

・【結果】造材後1ヶ月以内に原木を出荷する企業の割合は平均7割程度で冬期で高かった(図-1)。また、民間素材生産業者での素材の販売先は製材工場と商社が多く、径級の仕分けを行わない場合は商社が最も多かった(図-2)。

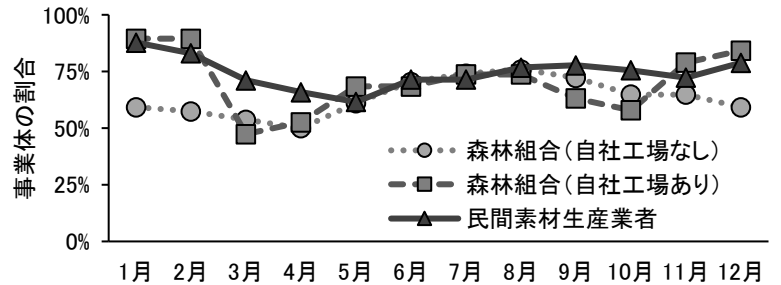


図-1 「造材後1ヶ月以内に原木出荷」と回答した事業者の月別割合

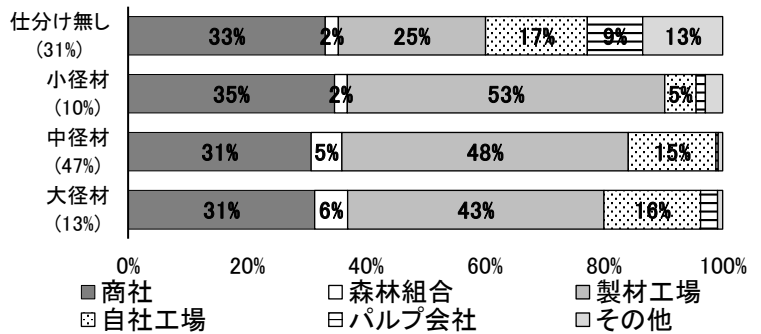


図-2 民間素材生産業者における素材の径級別販売先

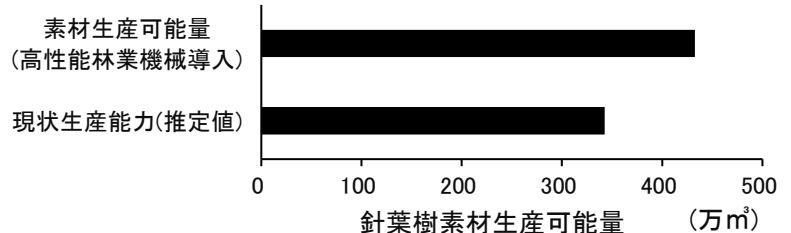


図-3 林業労働力からみた針葉樹素材生産可能量

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

津田高明・渡辺一郎・酒井明香(2019)道内森林組合における製材工場所有が林産事業の戦略に与える影響。第68回北方森林学会

造林作業の省力化に向けたコンテナ苗植栽のための穴掘り機構および無線誘導技術に係る実証試験

担当G：森林経営部経営G

協力機関：美瑛町森林組合、山口県農林総合技術センター

研究期間：令和元年度 区分：受託研究（(株)筑水キャニコム）

研究目的

北海道の林業労働者数は造林事業にかかる労働者数が減少傾向にあり、機械化を進めて造林作業の効率化や軽労化を進めることが必要とされている。また、植栽の機械化が進めやすいと考えられているコンテナ苗の生産数は増えつつある。そこで、コンテナ苗植栽のための土壌穿孔機についてその林地適用性を明らかにする。

研究方法(試験地概要と試験方法)

1) 土壌穿孔機の穿孔深の精度検証

- ・試験地：山口県岩国市
- ・傾斜：10～35度
- ・土壌型：乾性褐色森林土

斜面横方向と斜面縦方向で土壌穿孔作業を実施し、土壌穿孔深を測定した。



図-1 土壌穿孔試験地(山口県岩国市)

2) 土壌穿孔作業の工期調査

- ・試験地：北海道美瑛町、山口県岩国市、福岡県うきは市

- ・傾斜：5～20度(山口県除く)

機械の開発・改良のタイミング(3回)に合わせて、土壌穿孔に係る時間を工程別に計測した。



図-2 開発された土壌穿孔試験機

研究成果

1) 土壌穿孔機の穿孔深の精度検証

表-1に土壌穿孔深の平均誤差の測定結果を示した。まず、オーガ引き抜き時にオーガの回転を止めて引き抜いた方が回転したままより穿孔深の誤差が小さくなる傾向が認められた。これは、オーガが回転したまま引き上げると穴の縁を壊してしまう傾向があったが、オーガ引き上げ時に回転を止めることによりオーガのブシを抑制できたからだと考えられた。また、斜面横方向での作業時の穿孔深の誤差は、斜面下方のオーガ(左側オーガ)での誤差が大きくなる傾向がみられた。作業方向(斜面横方向と斜面縦方向)での穿孔深の平均誤差は、斜面縦方向での誤差の方がやや大きい傾向がみられた。これらのことから、土壌穿孔作業におけるオーガの回転は引き上げ時には止める方がよく、また、穿孔深の誤差はいずれも浅くなる傾向にあったことから、穿孔深の設定はあらかじめ誤差を見込んで2cm程度深めにする方がよいと考えられた。

表-1 土壌穿孔深の精度

作業方向	引き上げ時のオーガの回転	穿孔数	穿孔深の誤差 (cm)	
			右側	左側
斜面横方向	有り	14	-2.4±4.7	-3.3±3.7
斜面横方向	無し	20	0.1±1.0	-1.3±2.5
斜面縦方向	無し	14	-1.9±2.6	-1.9±2.3

*土壌穿孔深は15cmに設定

2) 土壌穿孔作業の工期調査

図-4に土壌穿孔作業時間と作業工期分析結果について示した。なお、作業工期分析は表-2に示すとおり、7つの要素作業に分類して実施した。土壌穿孔にかかった時間は、試験を繰り返すたびに短くなった。3回目の福岡県の調査では、手持ちエンジンオーガによる土壌穿孔時間(表-3)とほぼ同等の作業時間になった。

繰り返し試験によって穿孔作業時間が短くなった要因について、要素別の作業時間に着目して検討した。

まず、1回目(北海道美瑛町)から2回目(山口県岩国市)にかけて、平均穿孔作業時間が約5秒速くなっているが、要素別作業時間でみると、「移動」、「オーガ下降」、「オーガ上昇」の要素での時間短縮が大きいことが分かった。「移動」については、1回目の土壌穿孔間隔が1.6mだったのに対し、2回目と3回目の間隔が1.0mだったことが影響したと考えられた。また、穿孔作業の中心的な3つの作業項目(「オーガ下降」、「穿孔作業」、「オーガ引抜き」)については、当初、操作者の手元のリモコンボタンで、それぞれの作業を順番に操作してしたが、2回目以降では1回のボタン操作で3つの作業を自動的に連動して動くように改善した効果が表れたものと考えられた。一方で、「穿孔作業」については作業時間が長くなった。これは急傾斜地(約30度)での作業であったことが影響していると思われる。特に、横傾斜での作業では傾斜上部と傾斜下部で、例えばオーガの土壌到達距離が異なるなど穿孔作業状況が違うことにより、穿孔確認に時間が取られたためだと推測された。機体は地面に対して平行になるようにコントロールされているが、斜面形状は様々ではないため、張り出したオーガと地面までの距離は左右で異なる可能性があり、特に、急傾斜かつ横傾斜での作業では顕著に表れたためではないかと思われる。

次に、3回目(福岡県うきは市)の結果について、平均穿孔作業時間が1回目と比較して約半分、2回目と比較しても4割速くなった。要素別作業時間からは、「穿孔作業」に掛かる時間短縮が最も大きいことが分かった。これは、オーガモータの変更によりオーガの回転数を175rpmから350rpmまで上げたためだと考えられた。また、「ユニット下降・上昇」にかかる作業が「オーガ下降・上昇」に完全に連動した形になり作業が統合されたことも時間短縮に大きく貢献した。

表-2 土壌穿孔作業の要素作業

作業要素	内容
移動	穿孔作業間の移動
ユニット下降	穿孔ユニットの下降(図-3)
オーガ下降(穿孔前)	オーガが土壌まで接地するまで
穿孔作業	土壌穿孔作業
オーガ引抜き	穿孔作業後オーガが土壌から出るまで
オーガ上昇(穿孔後)	土壌から出て一時停止するまで
ユニット上昇	穿孔ユニットの上昇



図-3 機体前方に設置された穿孔ユニット
*当初は、傾斜など障害物に対応するために、穿孔作業前後にユニット全体を上下させていた。福岡での試験時ではユニット両端のオーガの動作と連動するようになった。

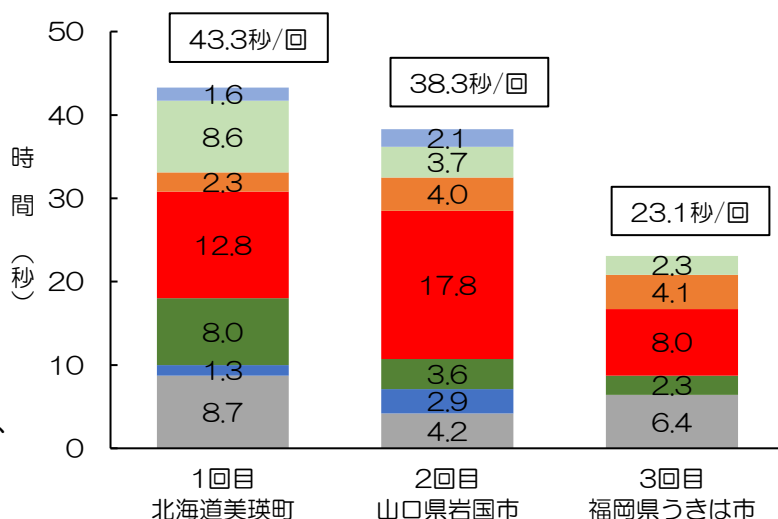


図-4 土壌穿孔作業にかかる要素別作業時間

- 移動
- ユニット下降
- オーガ下降(掘る前)
- 穿孔作業
- オーガ引抜き
- オーガ上昇(掘り後)
- ユニット上昇

表-3 手持ちエンジンオーガによる土壌穿孔時間(1穴当たり)

試験地	穿孔数	間隔	作業時間	平均穿孔作業時間(秒)
北海道美瑛町	20	1.6m	206秒	10.3秒/穴

コンテナ苗植栽機械化のための植栽機構および作業システムの検討

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：林産試験場（主管）

研究期間：令和元年度～3年度 区分：経常研究

研究目的

コンテナ苗の植栽機械化を進めるため、機械化に必要となる土壤穿孔機能や植栽ユニットについて検討し、小型機械によるコンテナ苗植栽作業システムを提案する。

研究方法

コンテナ苗植栽機械化のために、植栽穴穿孔機に必要とされる土壤穿孔力を検討およびコンテナ苗挿入機構を設計し、小型運搬機に搭載可能なコンテナ苗植栽機械を試作する。また、エンジンオーガや試作機による植栽試験を行い、コンテナ苗の苗木活着・初期成長への影響について確認する。

研究成果

1. コンテナ苗植栽機械に必要とされる土壤穿孔機能の検討

オーガ試験機を作製し、穿孔試験を実施した（図-1）。

オーガは、ドリル:φ60mm、電動ドリル:720Wを使用した。林業試験場内の苗畑（土壤硬度は山中式硬度計で10mm程度）で、回転数を3水準、送り速度を7～8水準に変化させてドリルの送り速度変動、最大トルク、ドリルが受ける反力の変動、穿孔深さなどを測定した。

図-2にドリル送り速度と200mm深に達する掘削時間の関係を、図-3にドリル送り速度とその時に地面から受ける最大反力の関係について示す。初期送り速度はドリルが着土する前の送り速度の実測値を示す。掘削中の送り速度が一定であれば、掘削時間と送り速度は反比例する（図-2中の理論値）。苗畑では、ほぼすべての条件で十分な深さの穴が開いたが、初期送り速度が速いと地面からの反力が大きくなり（図-3）掘削にかかる時間が理論値より長くなった（図-2）。

2. 植栽ユニットの開発

苗の挿入機構の設計を行った。苗挿入機構は、2分割した挿入爪が土中に貫入した後、爪が開きながら引き上げられることで、爪および苗に過大な力が掛かりにくい設計とした。また、爪を引き上げるときに苗が持ち上がらないように押さえる構造とした。



図-1 試作したオーガ試験機による土壤穿孔力測定の様子

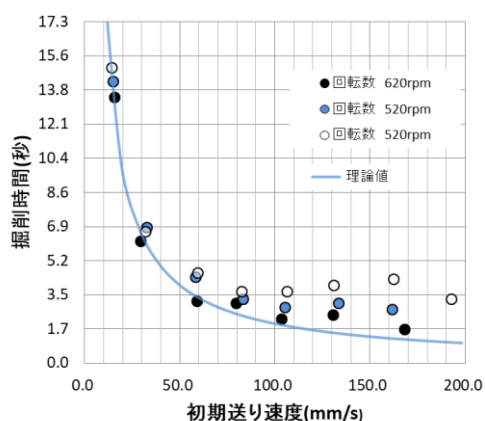


図-2 ドリル送り速度と掘削時間の関係

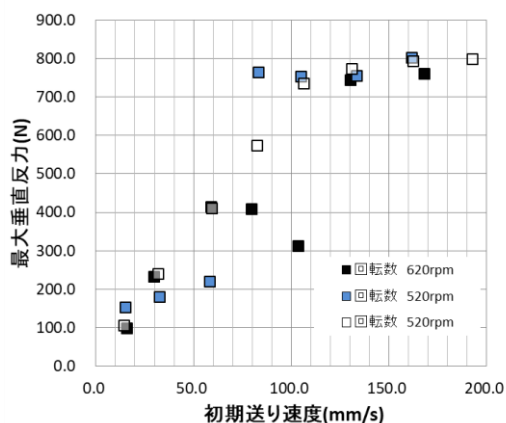


図-3 ドリル送り速度と最大反力の関係

引用等の著作権法上認められた行為を除き、林業試験場の許可なく引用、転載及び複製はできない

地域特性に応じた再生可能エネルギー供給と省エネルギー技術の社会実装

2.(1) 木質バイオマスの利用拡大技術の開発

担当G：森林経営部経営G、道北支場

共同研究機関：環境科学研究センター、北方建築総合研究所、林産試験場、北海道大学

研究期間：令和元年度～5年度 区分：戦略研究

研究目的

木質バイオマス利用のための先進的な技術・手法の実証、導入施設におけるバイオマスエネルギーの利用技術の高度化により、木質バイオマスの利用拡大のための政策立案に必要な課題を解決するとともに、その導入プロセスを構築することを目的とする。

研究方法

当別町の一般民有林における木質バイオマス資源量を把握するために、衛星画像を活用してトドマツ人工林における小班ごとのトドマツ占有率を推定した。

研究成果

1. 衛星画像によるトドマツ占有率の推定

2018.07.27撮影のSentinel-2衛星画像を用い、教師付き分類により樹種分類を行った。当別町の民有林は森林調査簿によるとトドマツと広葉樹が多く、画像分類も同様の結果が得られた。画像分類結果からトドマツ人工林の小班を対象にトドマツ面積率を計算し、それをもとにトドマツ人工林の成林状況をトドマツがほとんど存在しない小班（占有率30%未満）、トドマツがほぼ成林している小班（同70%以上）およびその中間の小班（同31～70%）の3段階に区分して表示した（図-1）。

当別町が管理している町有林と森林整備センター所有林のうち、森林調査簿において31年生以上のトドマツ人工林となっている856haについて、衛星画像解析から算出したトドマツ占有率ごとの面積と割合を図-2に示す。占有率30%未満は195ha、23%、同70%以上は305ha、36%であった。

また、グランドトゥルースデータを整備するため、トドマツ人工林間伐予定地においてUAVによる林分撮影と現地調査を実施した。これらのデータは、来年度以降、衛星データ等の判読結果との照合などに活用される予定である。

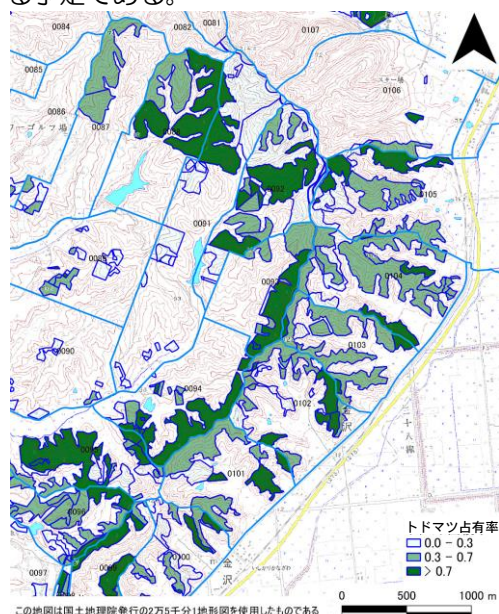


図-1 小班ごとのトドマツ占有率
占有率は①30%未満 ②31～70%
③70%以上の3段階で表示

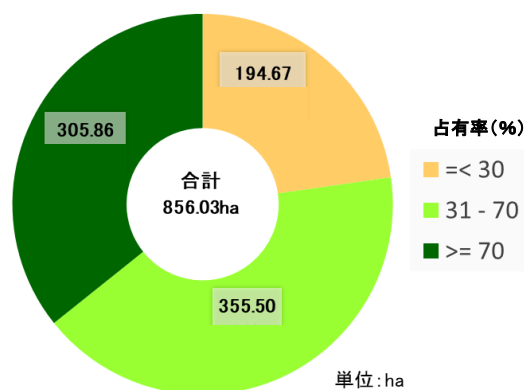


図-2 当別町管理のトドマツ人工林におけるトドマツ占有率ごとの面積と割合

図-1の解説

占有率30%未満はトドマツがほとんど存在しない小班、70%以上はトドマツがほぼ成林している小班、31～70%については両者の中間であると想定している。

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地域研究部環境防災G、
（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～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

調査地：林業試験場圃場

試験内容：露地トンネル被覆における採穂台木の育成（図-1）

調査：気温、地温、土壤含水率の測定
フェノロジー（穂長）の計測

研究成果

トンネル被覆資材では、農POフィルムは日中の気温上昇が著しく（図-2）、土壤の乾燥が進み（図-3）、生存率が2割前後に低下した。不織布は気温の上昇が晴天時でも最大4℃であり、生育は順調で成長の促進が認められた。マルチ処理は、地温を高め、土壤水分の損出を抑制する効果があった。「不織布+マルチ」栽培は、現行の栽培法（無処理）に比べて、生育を2週間以上早め、6月20日には長さ5cm以上の穂を11本採ることができた（図-4）。

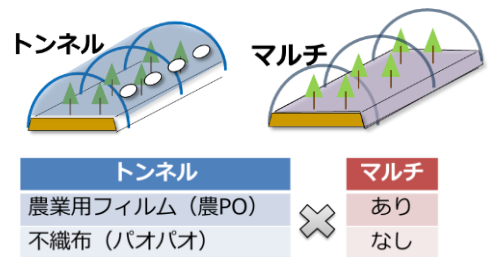


図-1 促成栽培試験の概略

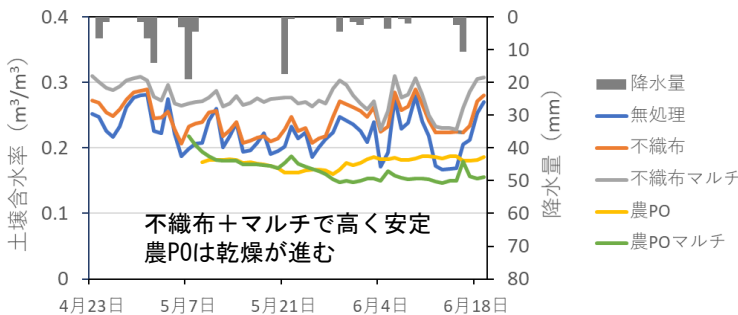


図-3 土壤の体積含水率の推移

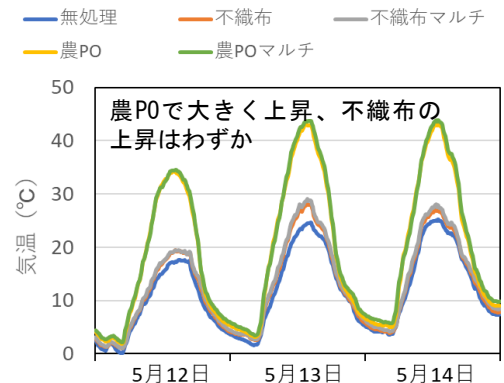


図-2 晴天期間の気温と地温の変化

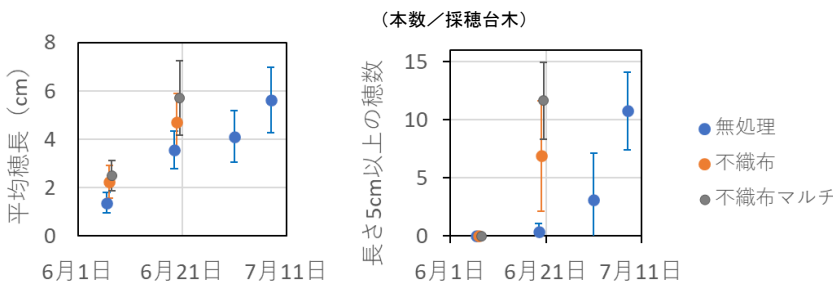


図-4 採穂台木あたりの平均穂長と穂の長さが5cm以上の穂数の推移
エラーバーは標準偏差を示す

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

令和元年度クリーンラーチさし木技術向上研修会、R元年9月12日（美唄）、R2年2月3日（札幌）