

トドマツ人工林の連年成長量予測モデルの開発

担当G：森林経営部経営G

協力機関：北海道水産林務部林務局森林計画課他

研究期間：令和2年度～令和4年度 区分：経常研究

研究目的

林分の属性や環境条件からトドマツの連年成長量を予測するための式を構築し、森林簿の作成に用いられている、材積や樹高テーブルなど管理表の改訂等に向けた基礎データを提示する。

研究方法

全道多点データ：道水産林務部、林野庁主管
 繰り返しあり 329林分
 繰り返しなし 1900林分
 検証用データ：道有林空知管理区、林試実験林等

全道多点データ：毎木データより林分材積、密度等算出：位置データより環境等の属性データ抽出
 繰り返しなし：林齢-材積の関係構築
 繰り返しあり：年成長量の算出
 検証用データ：毎木調査、伐倒による円板採取

研究成果

1) 環境要因等に基づく成長予測式の構築

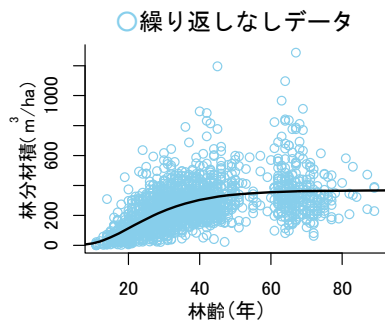


図-1 繰り返しなしデータから求めた林分材積成長曲線 (実線)

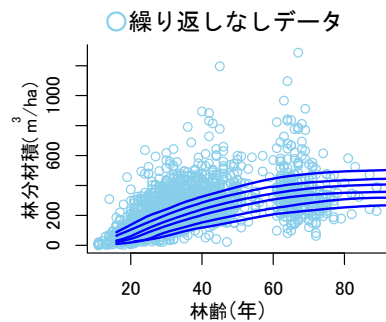


図-2 現在使われているトドマツ人工林の材積テーブル (材積成長曲線群、実線)

- ・繰り返しなしデータから平均的な林分材積成長過程を示す曲線を構築した (図-1)。
- ・現在使われている材積テーブルでは表現できていない材積の高い林分が存在していることが示された (図-2)。

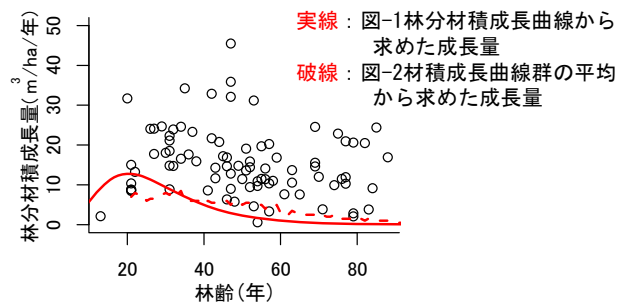


図-3 林齢と林分材積成長量 (実測値) との関係

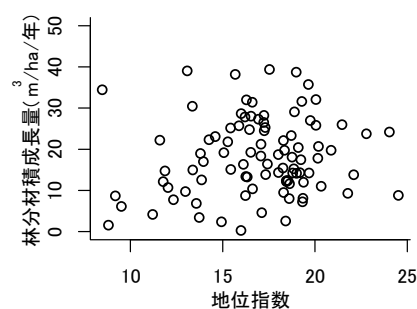


図-4 林分材積成長量と地位指数との関係

- ・繰り返しありデータにより算出した2年間の年成長量と、図-1及び図-2に示した材積成長量曲線から計算した連年成長量と比較した結果、いずれも林分材積成長量を過小に推定された (図-3)。
- ・繰り返しありデータから計算した年成長量は、各林分の地位指数と正の相関があり、環境要因等で説明できる可能性が示唆された (図-4)。

2) 環境要因等に基づく成長予測式の精度検証

- ・トドマツ人工林 (道有林空知管理区：芦別市、実験林：美唄市) を対象に継続調査や伐倒試験 (円板の採取) を行い、林分成長量を検証するための実測データを整備した。

衛星画像を用いた景観スケールでの 山火事森林再生モニタリング手法の開発

担当G：森林経営部経営G、保護種苗部保護G、道北支場

協力機関・研究機関：オホーツク総合振興局西部森林室、千葉大学、北海道大学

研究期間：令和2年度 区分：職員研究奨励事業

研究目的

2019年5月26日に道有林網走西部管理区内(雄武町)で山火事が発生した(214ha：オホーツク総合振興局西部森林室調べ)。景観スケールで被害状況とその後の再生過程を効率的に把握するため、衛星画像を用いたモニタリング手法について検討を行う。

研究方法

調査地：雄武町道有林網走西部管理区 山火事被害林分全域

衛星画像：Sentinel-2 (EU提供の無償衛星10m解像度)

表-1. 現地調査項目

	調査時期	範囲	箇所数	調査内容
プロット調査	春夏秋	被害地全域	8	毎木調査(樹種、サイズ、被害度)、下層植生(種、植被率、植生高) LAI、TLS(各プロット1か所)
	夏	被害地全域	13	毎木調査(樹種、サイズ、被害度、相対位置)、TLS(各プロット3か所)
多地点単木調査	夏	被害地全域	157	毎木調査(樹種、サイズ、被害度)、LAI
	春夏秋	被害地全域	-	オルソ画像(可視光)、表層モデル
UAV写真測量	夏	激甚被害地のみ	-	オルソ画像(可視光、近赤外、レッドエッジ)、表層モデル



研究成果

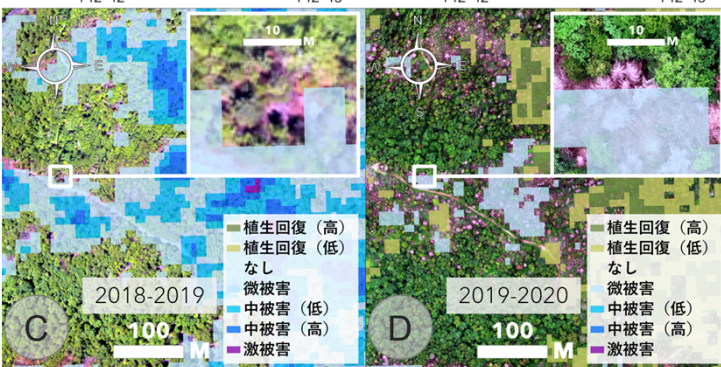
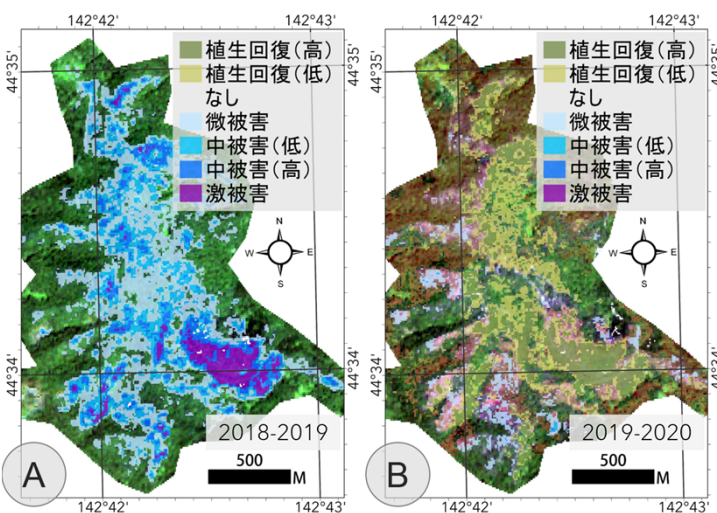


図-1. 衛星トゥルーカラー画像とdNBR (A, B)、山火事範囲の一部を拡大したUAV空撮画像とdNBR (C, D)

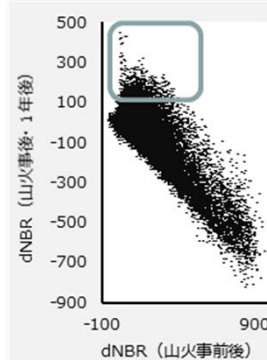


図-2. dNBRの関係

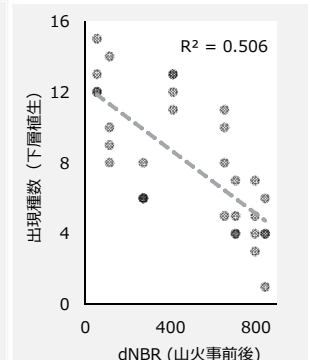


図-3. dNBRと山火事後の出現種数の関係

※NBR(Normalized Burn Ratio)：山火事の被害強度や植生の回復の指標として有用として近年注目されている指標の一つである。山火事前後や植生回復前後で、反射特性に違いがあるという特徴を用い、近赤外(NIR)と短波赤外(SWIR)の関係から、指標を算出する。また、2時期の差分であるdNBRを求めることで、被害強度や植生回復の指標として用いることができる。

- ・衛星画像を用い、山火事被害度と植生の回復を評価することができた(図-1)。
- ・山火事から1年後の衛星モニタリングの結果、山火事直後では判断できない被害を検出することができた(図-1、図-2:灰色枠内)。
- 長期間のモニタリングが重要
- 低コストなスクリーニングが可能
- ・dNBRが小さいほど出現種数が少なくなる傾向が見られた(図-3)。
- 衛星データを用いて森林再生ポテンシャルを推定できる可能性がある。
- ・今後も研究を継続し、森林再生ポテンシャルの空間分布を明らかにする予定。

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、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50林分でUAV空撮、うち10林分で毎木調査、位置測量
カラマツ26林分でUAV空撮、8林分で毎木調査、位置測量

内容：

1. トドマツ、カラマツの機械学習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. トドマツ、カラマツの胸高直径推定モデル作成
4. 森林資源量把握システムの試作

研究成果

1. 機械学習について

トドマツ、カラマツのデータセットから各立木の樹冠面積を推定する機械学習モデルを構築した。精度検証を行い、検出率89.7%、樹冠面積誤差率(MAPE)13.2%で推定できることを確認した(図-1)。

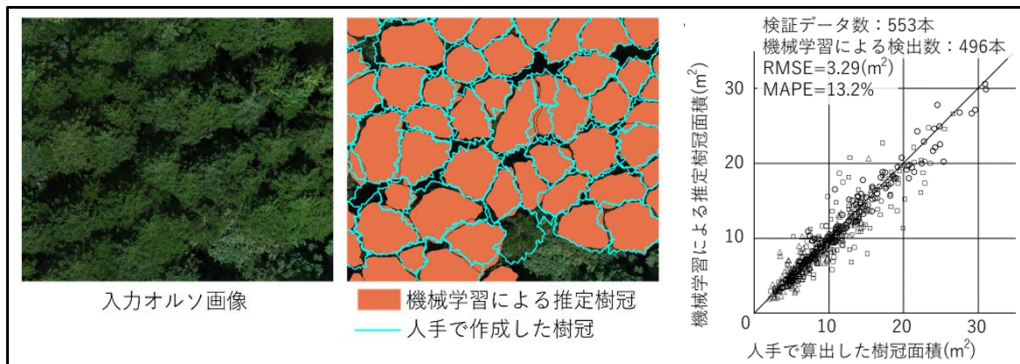


図-1：機械学習の推定結果と精度

2. 胸高直径推定モデルについて

推定樹冠面積(AI樹冠面積)と推定樹高(AI樹高)から一般化線形モデルを用いて胸高直径推定モデルを構築した。検証用林分データを用いての精度検証結果は単木胸高直径(n=122)を誤差(RMSE)4.44cmで推定できた(図-2)

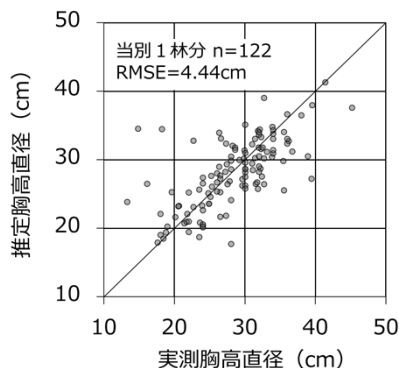


図-2：単木胸高直径推定モデルの精度

3. 森林資源量把握システムの試作について

収穫調査済みのトドマツ人工林全体をUAV空撮し、人力での調査結果に対して、本研究の手法による推定精度を検証した。その結果、被圧木が少ない林分では、推定材積107%、推定本数101%、被圧木が多い林分では推定材積104%、推定本数68.3%となった。また人力に対して作業人工数を71%削減できた。

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・対馬俊之(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

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・研究機関：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、当別町

研究期間：令和元年度～令和3年度 区分：経常研究

研究目的

多時期の無償衛星画像を用い、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(調査地概要や調査方法)

2017年1月1日から2017年12月31日までに撮影された衛星画像(Sentinel-2)を使用し、当別町内全ての一般民有林のトドマツ人工林を対象にGoogle Earth Engineを用いた教師付き分類を行った。該当期間すべての時期の画像の平均値を計算し一枚の画像を作成した。雲の影響を避けるため雲のある部分のみをマスクした画像を用いた。作成した画像より可視光(RGB)、近赤外、レッドエッジ、短波赤外、NDVI(夏)、NDVI(冬)の6つのバンドを用い、トドマツ、広葉樹、その他(草地、道、裸地)の3つに分類を行った。

研究成果

表-1 各分類における正答率

分類手法	RF: (b)	RF: (c)	RF: (d)	RF: (e)	SVM: (f)
使用バンド	可視光、近赤外、レッドエッジ、短波赤外	可視光、近赤外、レッドエッジ、短波赤外、NDVI(夏)	可視光、近赤外、レッドエッジ、短波赤外、NDVI(冬)	可視光、近赤外、レッドエッジ、短波赤外、NDVI(夏・冬)	可視光、近赤外、レッドエッジ、短波赤外
トドマツ正答率(%)	97.3	98.4	98.3	99.1	95.4
広葉樹正答率(%)	97.6	99.1	99.2	99.4	90.1
その他正答率(%)	95.8	97.6	97.6	98.1	23.7

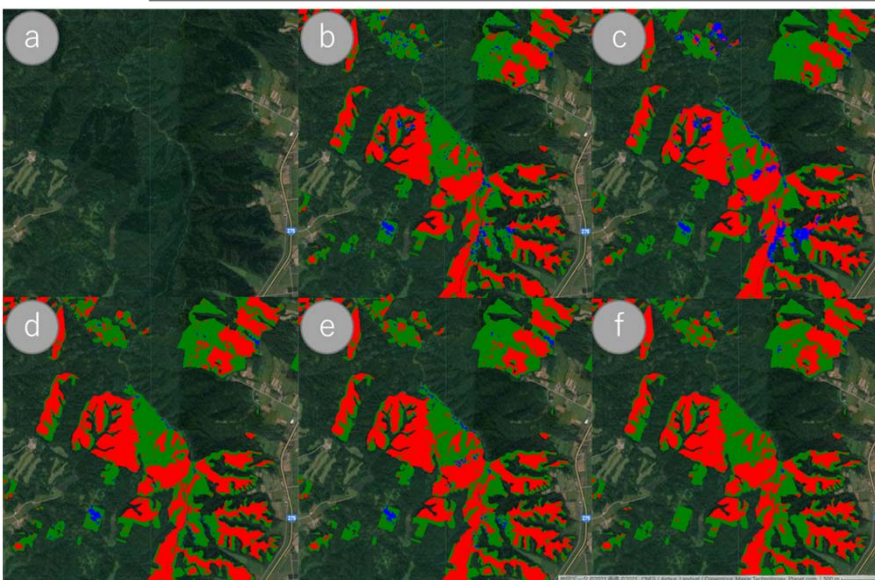


図-1 分類結果

aのパネルは航空写真を示す。b、c、d、e、fは分類結果を示し、表1の分類手法()内のアルファベットと一致する。赤：トドマツ、緑：広葉樹、青：その他で表示

- ・サポートベクターマシン(SVM)、ランダムフォレスト(RF)二つの手法を用い、分類を試みた。
- ・RFを用いた場合のほうが誤分類が少なかった。
- ・夏と冬のNDVIを使用し精度が上がるか検討を行った。
- ・夏と冬のNDVIを両方使った場合のほうが誤分類が少なかった。
- ・Google Earth Engineを用い低コストに広域の分類をすることができた。

※ Google Earth Engine：Googleが提供する地理空間情報解析プラットフォーム。クラウドコンピューティングによる解析を行うため個人の解析リソースに依存せず、大規模なデータ解析が可能。各国の衛星が取得したデータを無償で使用することができる。

※ 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($NDVI = (\text{近赤外} - \text{赤}) / (\text{近赤外} + \text{赤})$)

※ランダムフォレスト：ランダムに抽出した学習データを複数用いた、決定木解析の結果を組み合わせることにより、単独の決定木解析よりも過学習の程度を減らすことができる機械学習のアルゴリズム。

※サポートベクターマシン：異なるクラスに属するデータを分離する境界を、データと境界の距離から学習する機械学習のアルゴリズム。誤分類を許容する範囲を指定することができ、それにより過学習の程度を減らすことができる。

針葉樹人工林の成績の違いが侵入広葉樹の群集構造と動態にどのように影響するのか？

担当G：森林経営部経営G

共同研究機関：北海道大学、千葉大学

研究期間：令和2年度～4年度 区分：公募型研究

研究目的

針葉樹人工林に侵入した広葉樹の生育実態を把握するとともに、広葉樹の成長特性を明らかにし、広葉樹の侵入した針葉樹人工林の管理方法について検討するための知見を得る。

研究方法(調査地概要や調査方法)

解析対象：全道の針葉樹人工林(約500箇所)
 プロット面積：0.1ha

内容：
 ・多地点の毎木調査データの精査
 ・針葉樹、広葉樹別の胸高断面積合計、本数の集計

研究成果

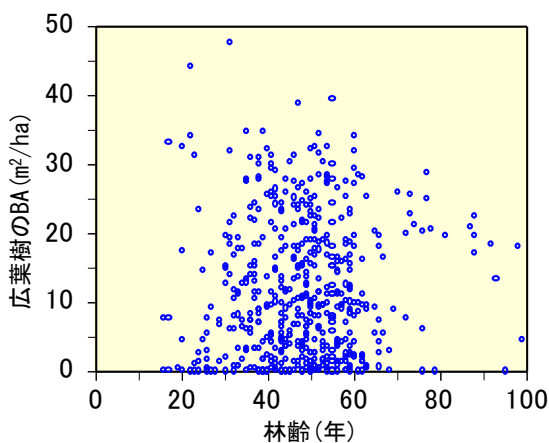


図-1 林齢と広葉樹の胸高断面積合計 (BA) との関係

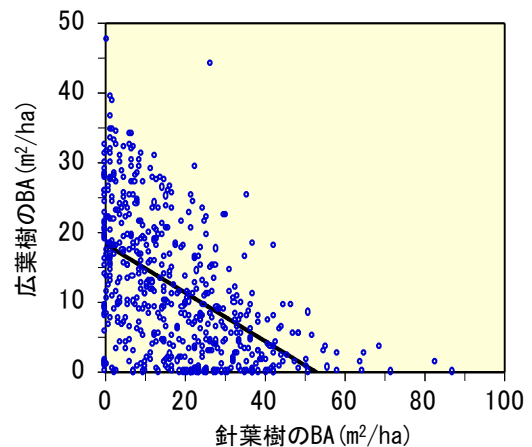


図-2 針葉樹のBAと広葉樹のBAとの関係

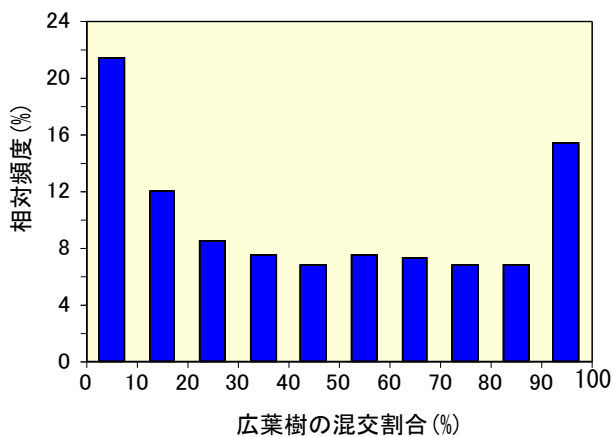


図-3 針葉樹人工林における広葉樹の混交割合別の相対頻度

- 針葉樹人工林の多地点データ(約500林分)を用いて、人工林における広葉樹の侵入状況を集約した。
- 広葉樹の資源量(胸高断面積合計:BA)は林齢との間に有意な相関は認められなかった(図-1)。一方、針葉樹のBAとの間に負の相関が認められた(図-2)。
- 広葉樹の混交割合が10%以下の針葉樹人工林が最も多かったものの、その割合は約20%であった。一方、広葉樹の混交割合が90%以上を占める林分も15%以上、存在していた(図-3)。

食葉性昆虫の大規模食害による失葉下での異常な木質形成のメカニズムの解明

担当G：森林経営部経営G

研究機関：北海道大学、信州大学

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

道内の主要樹種であるカラマツとウダイカンバを対象に、成長期の失葉が光合成産物の分配を通してどのように木質形成に影響するのか？そのメカニズムを明らかにすることを目的とする。

研究方法(調査地概要や調査方法)

実施場所：林業試験場

年輪解析(対象)：樹齢約100年生のウダイカンバ
(奈井江町：40個体、富良野市：14個体)

方法

年輪解析：ウダイカンバから採取した円板またはコアサンプル用いて年輪幅の測定

研究成果

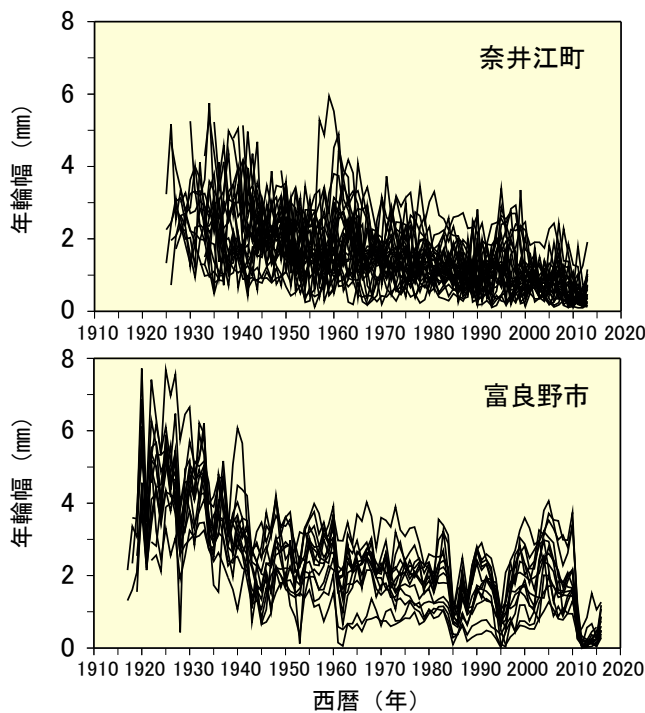


図-1 樹齢約100年のウダイカンバにおける年輪幅の年次推移(上段：奈井江町、下段：富良野市)

- 奈井江町と富良野市におけるウダイカンバの年輪幅には年々変動が認められ、成長が落ち込む時期が確認された(図-1)。
- 年輪解析用サンプルを採取した奈井江町と富良野市の二次林では、それぞれ2006～2008年、2011年に食葉性昆虫が大発生し、ウダイカンバの葉が食害されていた(写真-1)。



写真-1 年輪解析用サンプルを採取した地域のウダイカンバ二次林で発生していた過去のイベント

上段：奈井江町(2006年7月撮影)

下段：富良野市(2011年7月撮影)

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- Watanabe Y and Ohno Y (2020) Severe insect defoliation at different timing affects cell wall formation of tracheids in secondary xylem of *Larix kaempferi*. *Trees* 34: 931-941.

新たな付加価値を含めた木材利用を考慮した 広葉樹の育成技術

担当G：森林経営部経営G

共同研究機関：北海道大学、林産試験場

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

カンバ林を対象に成長・形状に対する保育作業（除・間伐）の効果を林分の発達段階ごとに明らかにするとともに、カンバ類の材質と立木の径級・形状・生育環境との関係から明らかにすることを目的とする。

研究方法(調査地概要や調査方法)

調査地：北海道大学雨竜研究林
 壮齢林：林齢約80年のシラカンバ二次林（3林分）
 若齢林：林齢5年のシラカンバ二次林（かき起こし地）

方法：毎木調査
 測定項目：胸高直径、樹高、枝下高

研究成果

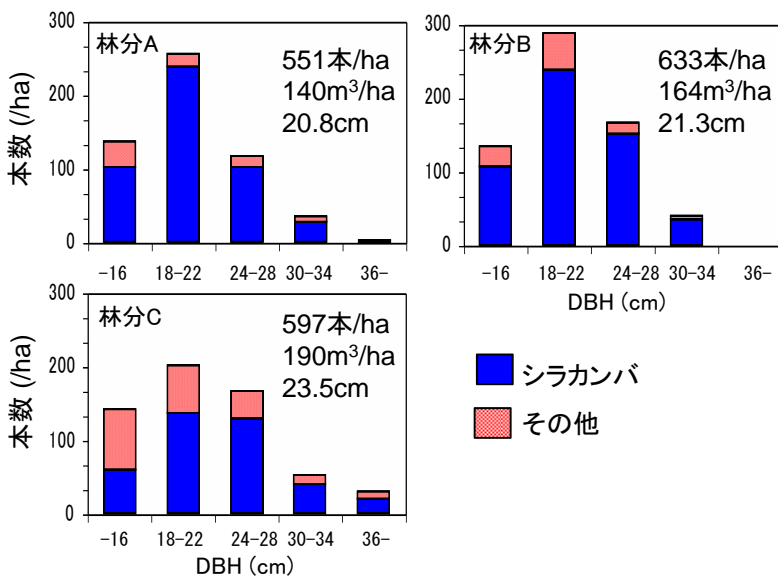


図-1 無間伐で推移した林齢約80年のシラカンバ二次林における胸高直径階（DBH）別の本数分布

DBH14cm以上の立木を対象に測定。図中の数値は立木密度、林分材積、シラカンバの平均DBHを示す。

- 無間伐で推移した林齢約80年のシラカンバ二次林の林分の立木密度、林分材積の範囲は550-640本/ha、140-190m³/haであり、シラカンバの平均DBHの範囲は20.8-23.5cmであった（図-1）。
- かき起こし施工から5年が経過したシラカンバ林地において残存候補木を選定した（図-2）。この林地の立木密度は約2万本であり、この中からDBHが相対的に大きく（10mm以上）、樹高が高い（200cm以上）個体を中心に約1000本/haの残存候補木を選定した。

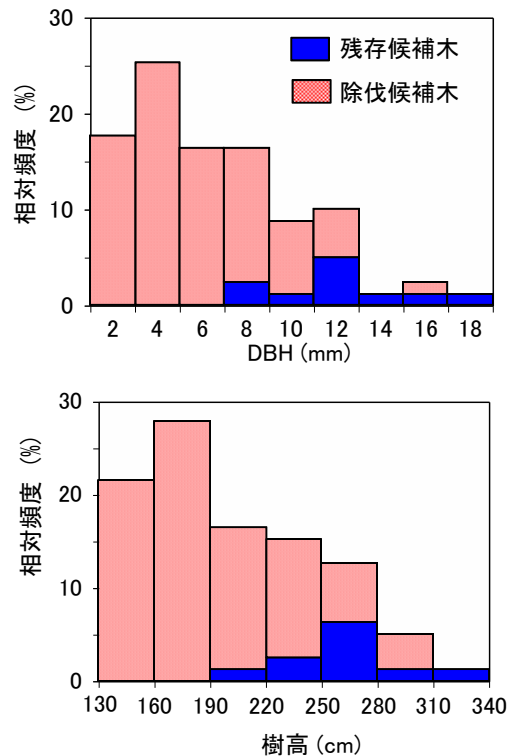


図-2 かき起こし地に成立したシラカンバ林におけるDBH別（上）、樹高階別（下）の相対頻度分布

樹高130cm以上の立木を対象に測定。

UAV測量による森林資源量の見える化技術の開発

担当G：森林経営部経営G、道北支場

共同研究機関：(株)小松製作所

研究期間：令和2年度～令和3年度

区分：一般共同研究

研究目的

コマツの所有・運用するUAV機を用いた森林資源把握に適した光学画像の撮影・収集及び解析技術による森林資源量の推定方法を検討する。

研究方法

調査地：当別町有林（2林分3地点）
樹種：トドマツ人工林

調査方法：コマツ所有UAVシステムによる空撮
解析方法：3Dデータ、オルソ画像を構築
樹頂点及び樹冠の認識
収量密度効果理論による林分材積の推定

研究成果

1) トドマツ人工林UAV撮影技術の検討及び改善

- ・当別町内の2林分において、コマツが所有するUAVにより3箇所で行った空撮を行った。本機体により材積推定に十分な解像度を有する画像を得ることができた（図-1）。
- ・3D点群データから作成したDSM（数値表層モデル）より、局所最大フィルター法を用いて樹頂点を抽出した（図-2）。オルソ画像に重ねると概ねトドマツ個体の樹頂点を表現していると判断できた。また、山登り法により樹冠投影面積を推定した。



図-1 UAV撮影画像から作成したオルソ画像

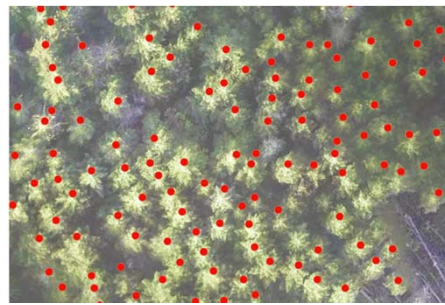


図-2 DSMより局所最大フィルター法を用いて抽出した樹頂点（赤色点）

2) 人工林地上踏査及び森林資源量の推定

- ・上記の結果から立木本数を推定した。また点群データからDSMを作成し、国土地理院が提供する10mメッシュのDEM（数値表層モデル）との差分から、各樹頂点における樹高を推定し林分の平均樹高を算出した。
- ・上記1) から算出した単木ごとの樹冠面積と上記平均樹高、及び北海道トドマツ人工林を対象に算出した収量密度効果の逆数式※1のパラメータを用い、それぞれの撮影範囲における立木本数及び林分材積を計算した（表-1）。

表-1 収量密度効果の逆数式により推定した立木本数と林分密度

撮影箇所	撮影面積	平均樹高	立木本数	林分材積
	m ²	m	本/ha	m ³ /ha
No.1	41,484	19.8	565.3	201.9
No.3	33,685	18.6	449.8	154.5
No.4	3,471	24.5	550.3	339.6

※1 収量密度効果の逆数式

$$\begin{cases} \frac{1}{Y} = A + \frac{B}{N} \\ A = aH^b \\ B = cH^d \end{cases}$$

Y: 林分材積、N: 立木本数、
H: 平均樹高、
A, B, a~d: パラメータ

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、副場長

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、美幌町、日立建機日本（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、写真検知、人力検知（2cm括約）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の精度を比較検討する。

2) 原木丸太デジタル情報の活用方法の検討
ICTハーベスタが持つ原木丸太情報（直径と材長）取得技術を活用した材価最大化最適採材機能（バリュバッキング）の効果について検討する。
・対象機種：WARATAH社製ハーベスタ（写真-1）

研究成果

1) 丸太原木デジタル情報測定精度の比較
mm単位で測定した基準値に対する平均測定誤差は、人力検知ではトドマツとカラマツともに約2cm、写真検知（ジツタ）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）については、トドマツについては他と同様な結果が得られたがカラマツでは基準値に近い測定結果となった。ハーベスタ検知については、基準値とほぼ変わらず、平均誤差についても1cm以下になった（表-1）。

2) 原木丸太デジタル情報の活用方法の検討
総出材量はバリュバッキングで14.2m³、オペレータ判断では14.7m³となり、ほぼ同じになった。原木丸太生産数では、バリュバッキングでは221本造材され、そのうち一般材は127本を占めた。同じく、初心者オペレータ判断では250本造材され、そのうち一般材は100本造材された。バリュバッキングでは3.0m材の造材量が増えることやオペレータ判断に比べてパルプ率が低くなる傾向がみられた（図-1）。

木材販売額推計（図-2）では、にバリュバッキングの方がわずかに（7%）上回る結果となった。



写真-1 WARATAH社製のハーベスタ

表-1 原木丸太直径の基準値に対する平均測定誤差

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（ジツタ）	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

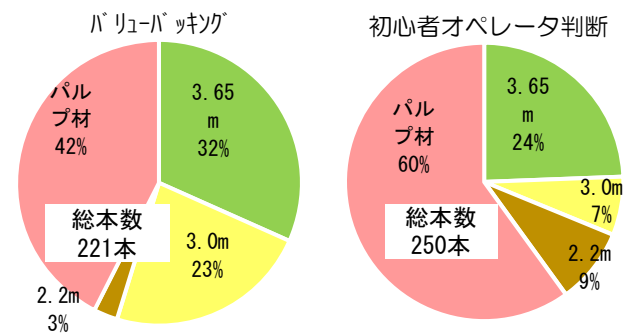


図-1 バリュバッキング機能と初心者オペレータ判断による材長別出材本数の比較

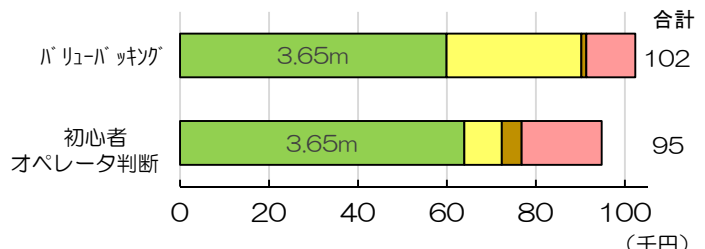


図-2 バリュバッキング機能と初心者オペレータ判断による出材結果から推定した木材販売額の推計（凡例は図-1に準じる）

小鳥の渡りルート of 解明は東南アジアの環境保全への 支払意志額増加につながるか？

担当G：保護種苗部保護G

共同研究機関：(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所(主管)、北海道大学

研究期間：平成29年度～令和2年度

区分：公募型研究

研究目的

北海道の森林で繁殖するキビタキと草地で繁殖するノビタキにジオロケータ（渡りの経路を調べるためのデータロガー）を装着し、渡り経路と越冬地を解明する。越冬地の環境変化が、日本の繁殖個体数の増減に影響しているか、モニタリングデータを用いて検証する。そして、渡り経路の解明が、東南アジアにおける環境保全型農林業への日本人の支払い意志額の増加につながるかを環境経済評価により明らかにする。

研究方法

試験地：石狩川河川敷（江別市・新篠津村）

調査方法：昨年、ジオロケータを装着して放鳥したノビタキを再捕獲し、データを回収する

研究成果

- 令和元年にノビタキ51羽を捕獲しジオロケータを装着した。装着個体のうち令和2年には15羽の帰還が確認され、そのうち13羽を再捕獲し、13個のジオロケータを回収した（図-1、写真-1、2）。2個体は再捕獲前に確認できなくなった。
- 色足輪だけ装着した45羽では、18羽の帰還が確認され、帰還率は若干色足輪だけの方が高かったが、統計的な違いはなかった（図-2、Fisher's exact test、 $p=0.29$ ）。



図-1 ノビタキ捕獲地点
石狩川河川敷（江別市・新篠津村）

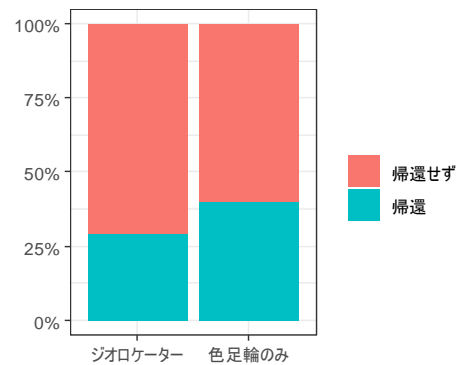


図-2 ジオロケータ装着の有無と帰還率の関係



写真-1 再捕獲したノビタキ



写真-2 再回収したジオロケータ
(右の黒いもの)と足輪(左)

保残伐の大規模実験による自然共生型森林管理技術の開発

担当G：保護種苗部保護G、森林環境部環境G、森林経営部経営G

共同研究機関（協力機関）：森林総合研究所（主管）（北海道水産林務部森林環境環境局
道有林課、空知総合振興局森林室、北海道大学、エネルギー・環境・地質研究所）

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

2013年から北海道で開始した国内初の保残伐の長期・大規模実証実験において、伐採2～8年後を対象に生物多様性、水土保持機能、木材生産性に与える保残伐の影響を調査する。そして、その結果を伐採前のデータとあわせて解析することで、保残伐の初期の効果を明らかにし、各要因への効果を統合した、自然共生型森林管理技術を開発する。

研究方法

調査地域：道有林空知管理区225～250林班
実験区：広葉樹単木少量保残区（単木少量）、広葉樹単木中量保残区（単木中量）、広葉樹単木大量保残区（単木大量）、群状保残区（群状）、人工林皆伐区、小面積皆伐区、広葉樹天然林対照区、人工林対照区

各実験区は3セット（小面積皆伐区のみ2セット）
生物多様性：鳥類、林床植生、枯死材性甲虫
水土保持機能：無機イオン、流量観測、底生動物
木材生産性：植栽木と保残木の生残と成長

研究成果

生物多様性調査

- 伐採から6年経過しても、群状保残区の保残部では下層植生の種組成に大きな変化はなかった。伐採した調査区では伐採3年後までは伐採前から離れる方向に種組成が変化していたが（図-1の灰色の線、丸いマーカーから左上に変化）、6年後には伐採前に近づくように方向が変化した（赤い矢印）。
- 各実験区の中心部で伐採前～伐採後3年まで行った鳥類の定点調査データを非計量多次元尺度法やクラスター分析を用いて種組成を解析した結果、針葉樹性の種が多い、広葉樹性の種が多い、開放地性の種が多いという特徴を持つ3つのグループに分けることができた。

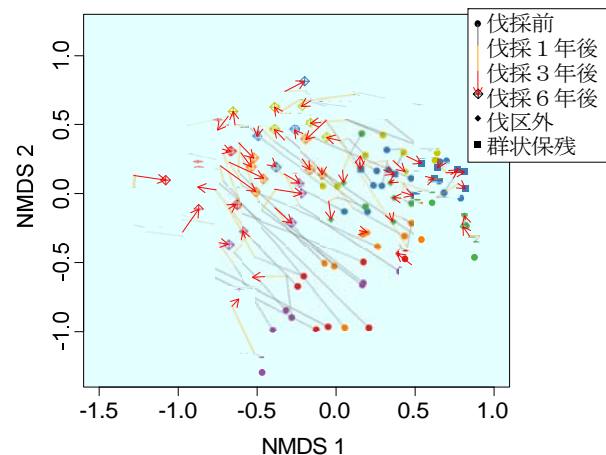


図-1 下層植生の種組成の変化(非計量多次元尺度法)

水土保持機能調査

- 降雨出水時（7～10月）の採水試料により、伐採前～伐採4年後までの微細土濃度（濁り）を計測した。伐採当年に皆伐区、単木大量保残区流域において裸地斜面や作業道を供給源とする高濃度の濁りが発生したが、2年後には伐採前のレベルに戻り、5年目に至ってもその状況が維持されていた（図-2）。

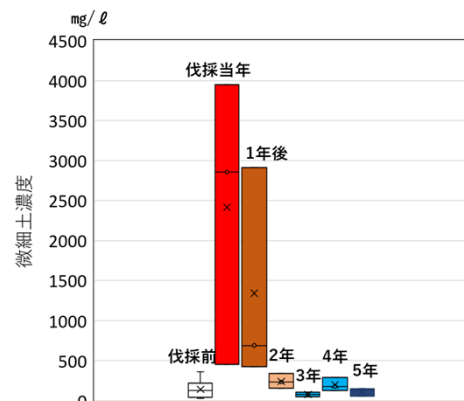


図-2 単木大量保残区における伐採前後の浮遊砂濃度の変化
伐採年は2015年

木材生産性調査

- 6年経過した第1セット大量保残区の植栽木の伸長成長量は、植栽時のサイズと正の相関があったが、全天写真から算出した相対的な明るさと伸長成長量との間には相関なく、保残木による成長抑制は見られなかった。

カラマツ・トドマツ人工林における 風倒害リスク管理技術の構築

担当G：森林環境部環境G、森林経営部経営G、道東支場

協力機関：林産試験場性能部構造・環境G、北海道水産林務部林務局森林整備課・森林計画課・森林環境部道有林課・森林活用課、池田町、十勝総合振興局森林室、空知総合振興局森林室、上川総合振興局南部森林室

研究期間：平成30年度～令和2年度 区分：重点研究

研究目的

北海道の主要な造林樹種であるカラマツ・トドマツ人工林において、十勝地方の複数市町村等を対象に、施業体系^{*}と風倒害に対する樹木の感受性（倒れやすさ・折れやすさ）との関係を明らかにし、被害実績に応じて体系化した対策指針を構築する。

^{*}施業体系：人工林において間伐時期と間伐率がわかるように、林齢ごとの林分密度（および幹直径、樹高）を示したもの。苗木の植栽密度と森林の保育過程での管理密度が異なる数種類のタイプがあり、元々は生産目的（大径級丸太の少量生産か、標準径丸太の多数生産か、等）に応じて使い分けるものである。本研究は、気象害（風倒害）対策の為に使い分けできるようにすることを目的としている。

研究方法

1. 被害実績の要因解析
2000年以降、十勝地方で発生した風倒害の実績を用い被害要因を解析（一般化線形モデル）
2. 森林構造からみた風倒害感受性の評価技術の開発
カラマツ人工林、トドマツ人工林それぞれについて限界風速を推定する力学モデルを作成し、植栽密度の違いによる風倒害感受性を評価
3. 被害実績に応じた対策指針の提示
協力機関からの意見を踏まえて設定した施業体系をもとに林分成長を予測し、その結果を力学モデルに適用して限界風速を推定、対策の有効性を検討

研究成果

1. 被害実績の要因解析

- 地形要因として斜面方位、傾斜角、露出度が、森林の要因として林齢、間伐の有無、間伐後の年数が選択された。
- 個々の要因を取り出して被害確率を計算したところ、斜面方位では、東～南東斜面で被害が大きくなり斜面傾斜角が急になるほどその影響が増加することがわかった（図-1）。また、この方位は、過去に風倒害を引き起こした台風の最大風速風向とおおむね一致していた。
- カラマツ林では林齢32～35年で被害が最も大きくなった。

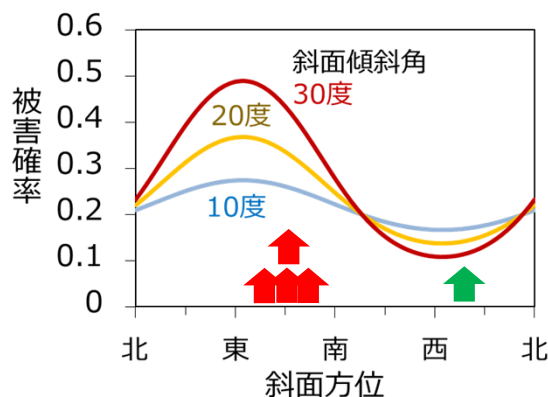


図-1 斜面方位からみた風倒害の受けやすさ
赤矢印は、過去風倒害をもたらした台風の風向を、
緑矢印は、十勝地方の夏季の風速上位の風向を示す

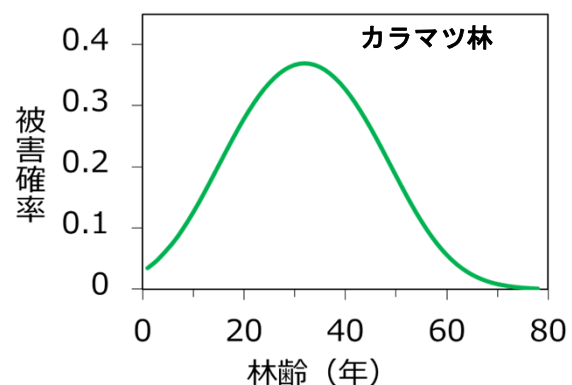


図-2 林齢からみた被害の受けやすさ

※図-1と図-2は、2002年台風21号の被害実績を用い、他の要因の値を固定して、横軸の要因の値を変化させて作成

2. 森林構造からみた風倒害感受性技術の開発

- 通常の施業体系に対して限界風速を推定したところ、両樹種とも低密度植栽で限界風速が大、すなわち風倒害耐性が高くなることがわかった(図-3)。
- トドマツ林では林齢とともに限界風速が低下したが、カラマツ林では30~35年生で最低となり、被害実績の要因解析で得られた結果(図-2)とよく符合していた。

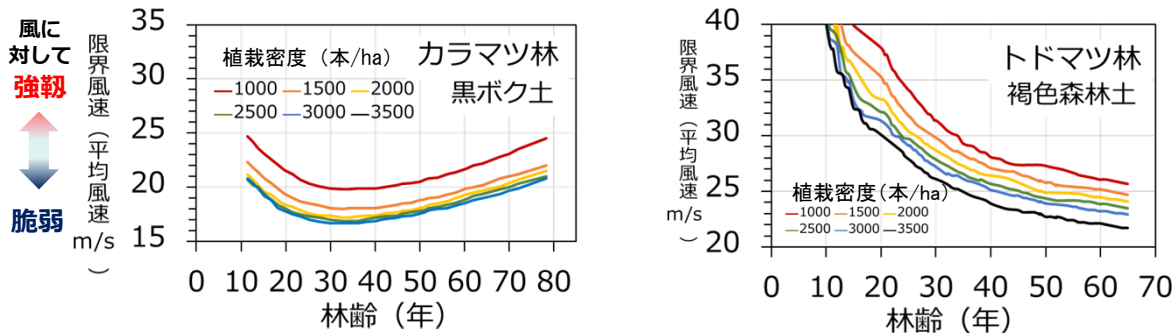


図-3 通常の施業体系について推定した限界風速

3. 被害実績に応じた対策指針の提示

- 十勝地方の協力機関等からの意見を反映させた対策指針を作成した。
- 力学モデルを用いた評価では、低密度植栽(1500本/ha以下)が望ましいと示されたが、造林初期の減耗に対し現場関係者の懸念が大きいとの意見を反映させ、いずれの樹種についても、十勝地方の一般的な植栽密度(カラマツは間伐収入や野ネズミ害等も考慮し2250本/ha、トドマツは多くが保安林指定を受けているため2750本/ha)からスタートする施業体系を検討した。
- 限界風速を高めるための修正間伐は、両樹種ともできるだけ若齢時に開始し、植栽密度1500本/haの施業体系の林分密度に誘導する密度管理とした(図-4)。

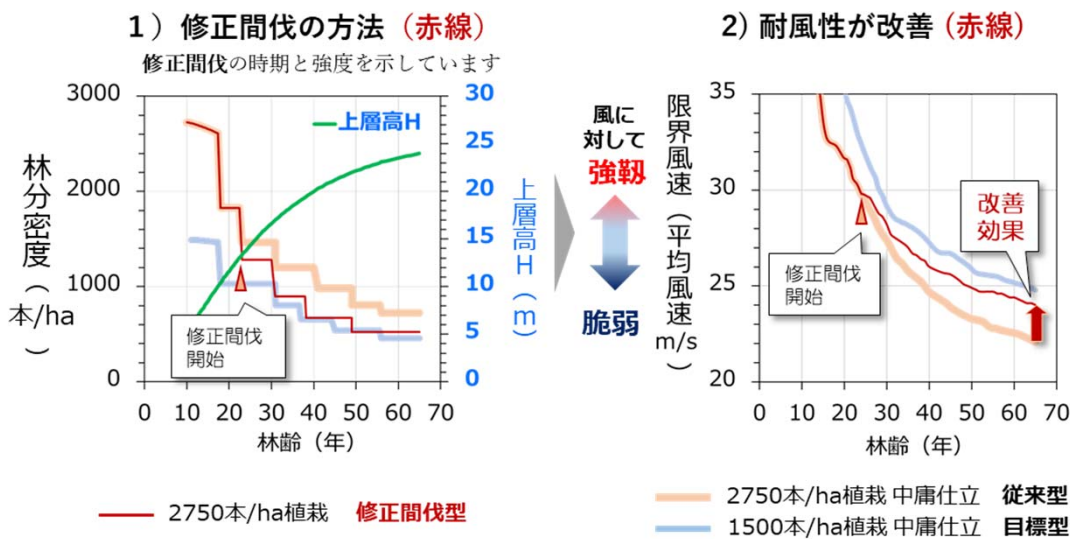


図-4 トドマツ人工林について検討した修正間伐の方法(左)と修正間伐による耐風性改善効果(右)

研究成果の公表(文献紹介や特許など)

- 阿部友幸・岩崎健太・長坂晶子・長坂有・中田康隆・佐藤創・鳥田宏行・速水将人(2019)北海道内における造林樹種の根張り抵抗性についての地域間比較. 第130回日本森林学会大会(朱鷺メッセ、2019.3.22)
- 鳥田宏行・阿部友幸・岩崎健太・佐藤創・真坂一彦(2019)カラマツの枝下高および枝下直径の推定. 第68回北方森林学会大会(札幌コンベンションセンター、2019.11.6)
- 阿部友幸・長坂晶子・岩崎健太・鳥田宏行・長坂有・中田康隆・蓮井聡・佐藤創・真坂一彦・滝谷美香(2020)北海道十勝地方のカラマツ人工林の耐風性とその改善手法の検討. 第131回日本森林学会大会(名古屋大学、2020.3.28)
- 滝谷美香・阿部友幸(2020)風倒被害に強いカラマツ人工林を仕立てるための施業モデル. 第131回日本森林学会大会(名古屋大学、2020.3.29)
- 阿部友幸・藤原拓哉・滝谷美香・長坂晶子・岩崎健太・鳥田宏行(2020)道有林十勝管理区の保安林に造成されたトドマツ林の風倒害耐性を考慮した施業体系. 第69回北方森林学会大会(オンライン開催、2020.11.11)
- 藤原拓哉・阿部友幸(2020)トドマツ生材丸太の曲げ強度特性-林齢、直径との関係-. 日本木材学会北海道支部 令和2年度第52回研究発表会(オンライン開催、2020.11.4)

道北地域の森林におけるエゾシカ生息実態把握技術の開発

担当G：道北支場

協力機関：北海道環境生活部、上川総合振興局、北海道大学、エネルギー・環境・地質研究所

研究期間：令和元年度～令和3年度 区分：受託研究（中川町）

研究目的

各地で市町村や森林管理者等によるエゾシカ個体数管理の取り組みが実施されるようになってきたが、エゾシカの生息状況把握や森林への影響に関して、これまでの研究はエゾシカの生息密度が高く積雪の少ない地域で行われたものが多く、多雪で大型のササが繁茂する道北地方では、既存の技術をそのまま適用できない場合がある。そこで、道北地方においてエゾシカの生息状況や森林への影響を把握する手法を開発する。

研究方法(調査地概要や調査方法)

1. 森林への影響の把握

調査地：中川町 32地点 音威子府村 12地点
方法：林縁の広葉樹稚樹各地点10本
食痕調査、痕跡調査等

2. エゾシカの生息状況の把握

調査地：中川町内
方法：自動撮影カメラ 15台
UAVによる写真撮影

研究成果

1. 森林への影響の把握

林道沿いの稚樹10本の前年枝を調査し、食痕の有無に関する一般化線形混合モデルによって調査地ごとの影響の程度を示すことができたが、ほとんどの稚樹が採食されている調査地間の違いが区別できなかった。採食程度を定性的に2段階（食痕が見られるが樹高成長している、繰り返し採食されて成長が停滞している）に区分することで、影響の強い調査地間の違いも示すことができた（図-1）。

2. エゾシカの生息状況の把握

すべての自動撮影カメラでどの月にもエゾシカが撮影された。6～9月に撮影された時間帯は、どの地点も朝夕が多かったが、日中との差は調査地によって異なっていた（図-2）。

3月にUAVによってエゾシカを探索した。エゾシカの表面温度は樹木と大きな違いがない場合があり、サーマルセンサーによる熱画像は可視画像に比べて解像度も低いため、エゾシカの探索には可視画像を動画撮影するのが良いことが分かった（図-3）。

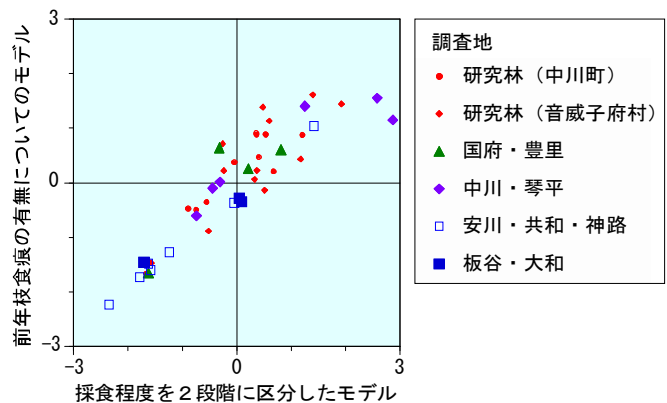


図-1 稚樹の前年枝食痕の有無または2段階に区分した採食程度を目的変数とする一般化線形混合モデルで推定された調査地の影響レベル。樹種と樹高を説明変数とするモデルにおける調査地ごとのランダム切片の値を示す。

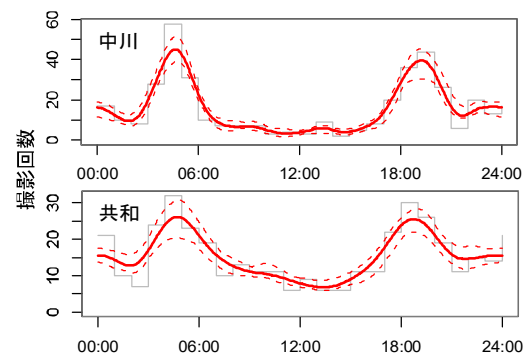


図-2 6～9月に2地域（カメラ各3台）においてエゾシカが撮影された時間帯

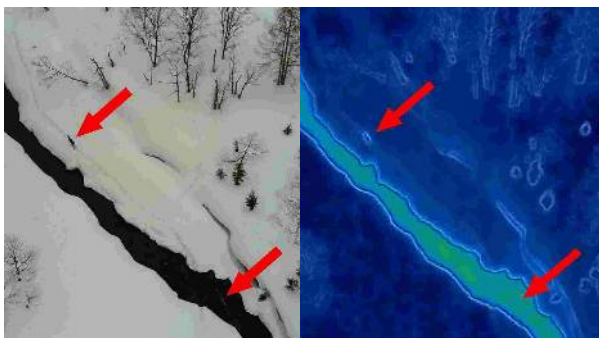


図-3 高度約60mから撮影した可視画像と熱画像（可視画像の情報によってエッジを強調したもの）
画像の一部を拡大、矢印はエゾシカの位置を示す。