

循環的なカンバ林業をめざして

―地がきを利用した施業管理技術―



国立研究開発法人 森林研究・整備機構
森林総合研究所北海道支所

第5期中長期計画成果13（森林産業 - 4）

はじめに

北海道の人工林の多くを占めるトドマツとカラマツが利用期を迎えています。既に主伐が始まっていますが、森林資源を持続的に利用するためには、不成熟造林地の解消などを目指した再造林を着実に進めなければならず、低コストな施業方法が求められます。

その方法のひとつとして、伐採後に地表付近のササの根系を取り除く「地がき」が以前から行われてきました。地がきで天然更新する樹種はカンバ類（シラカンバ、ダケカンバ、ウダイカンバ）が主で、中でもシラカンバは、近年、加工技術の向上によって材の用途が拡大し、需要が増大しています。しかし、これまで立地によっては、生育不良や成林困難などの事例があり、目標とする森林に確実に導く更新方法と初期保育方法を確立する必要があります。

そこで森林総合研究所北海道支所では、令和元年度から3年度まで、シラカンバを主な対象樹種として、地がきでの更新と初期保育、経営収支を反映した適地判定の各技術の開発や向上に取り組みました。この冊子には、3年間で明らかにした新たな知見や開発した技術を、既に報告されている知見とともに取りまとめましたので、現場での施業に役立てていただければ幸いです。

なお、本プロジェクトの推進にあたり、現地調査などでご協力頂いた北海道森林管理局、森林技術・支援センターおよび各森林管理署ならびに北海道大学雨龍研究林の皆様に感謝申し上げます。

交付金プロジェクト主査 吉田和正

執筆者：

吉田 和正（主査） 石橋 聡（副査 令和元年度） 嶋瀬 拓也（副査 令和2～3年度）
矢部 恒晶 天野 智将 橋本 徹 伊東 宏樹 関 剛
津山 幾太郎 中西 敦史 北尾 光俊 矢崎 健一 伊藤 江利子
梅村 光俊 石橋 靖幸 古家 直行 飛田 博順 原山 尚徳
山田 健

※「地がき」は「かき起こし」とも呼ばれます。

目次

I. 地がき更新作業

1. 目的樹種	1
2. 作業適地の条件	1
リサーチトピック 1 シラカンバの天然更新を阻害する土壌水分条件	2
3. 種子の確保	3
4. 地がき作業	3
リサーチトピック 2 地表処理法としての盛り土と天地返しを検証	4
5. 初期保育一下刈（刈出し）	5
6. 更新完了の判断	5
リサーチトピック 3 地がき更新へのエゾシカの影響	6

II. シラカンバ林の成長予測

1. シラカンバ林地位指数曲線	7
リサーチトピック 4 シラカンバ林の間伐効果と成長予測	8
2. シラカンバ林の収穫予測	9
リサーチトピック 5 北海道産カンバ類の用途と価格	10

III. 地がきカンバ林の施業適地

1. カンバ（シラカンバ、ダケカンバ）林の地位指数分布予測	11
2. 地がきカンバ林の経営収支予測	12
3. 地がきカンバ林の施業適地の予測	13
リサーチトピック 6 地がきカンバ林と人工林との経営収支の比較	14

I. 地がき更新作業

地がきによる天然更新成功のための技術的要点を、更新にとってより条件が厳しいとみられる低標高の人工林帯状皆伐地（幅40～50m程度）を主な対象地として示します。ただし、要点のほとんどは、これまで主として地がきが行われてきた広葉樹天然林などを対象とした場合でも大きな違いはありません。

1. 目的樹種

標高が低いことや、地がき後のササの回復や草本類の繁茂のスピードに負けないようにするため、先駆樹種で初期樹高成長量の大きいシラカンバを主な目的樹種とします。なお、同じ先駆樹種で更新する可能性があるウダイカンバ、ハンノキ類、ヤナギ類も初期樹高成長量が大きく期待できます。トドマツなどの針葉樹（カラマツ除く）や広葉樹の一部の極相樹種（イタヤ類等）は初期樹高成長量が小さく、実生段階では存在しても、更新した先駆樹種やササ等の被陰などにより、その後はほとんど残りませんでした（表1）。

表1 地がき後の生残状況（幾寅：南富良野町）

樹種	2017(2年目)	2020(5年目)
	実生・稚樹	稚樹
シラカンバ	201	146
ヤチダモ	83	5
ヤナギ類	37	24
ウダイカンバ	20	17
キハダ	16	7
ヤマグワ	15	5
ニレ類	10	2
トドマツ	7	0
カラマツ	4	2
キタコブシ	4	1
ダケカンバ	4	1
イタヤ類	3	0
ハリギリ	3	0
シウリザクラ	1	0
ホオノキ	1	2
計	409	212
(haあたり)	21,302	11,042

注）・稚樹は樹高30cm以上

・地がきプロット2m×2m 48箇所の本数データ



写真1 幾寅調査地の現況（2021年10月撮影）

現在（地がき後6年目）は、シラカンバを主体にササの桿高（120cm）を超えている更新木が、ヘクタールあたり7,917本生立しています。

2. 作業適地の条件

1) 傾斜

大型機械を使用するため、傾斜はおおむね20°以下が対象地です。

2) 方位

南斜面が適します。シラカンバは成長に強い光を要求する陽樹であることや、発芽成長に乾いた環境を好むためです。

3) 土壌条件

B_C（弱乾性褐色森林土）、B_D（適潤性褐色森林土）型が好適です。谷地、平坦地の凹地などの湿性土壌は、ヒヨドリバナ等の大型草本が繁茂しやすく、シラカンバの天然更新にとって条件が厳しくなります。ただし、近隣に母樹があれば、湿性土壌を好むハンノキ類やヤナギ類が更新する場合があります。

リサーチトピック 1

シラカンバの天然更新を阻害する土壤水分条件

土壤水分条件を変えた栽培試験

ヒヨドリバナは、北海道内の造林時に競合植生として一般的に見られるキク科の多年生草本です。そこでシラカンバとヒヨドリバナの実生を乾燥から滞水に至る様々な土壤水分条件で生育させ、光合成反応と成長反応の比較を行いました。6月末に種をまき、7月末から水分条件を変えて、9月末まで栽培しました。水分処理は、1) 週2回灌水（乾燥）、2) 週3回灌水（コントロール）、3) 半分滞水（ポットの下半分が水につき土が常に湿っている状態）、4) 完全滞水（ポットを完全に水没させた状態）の4つの処理を設けました。

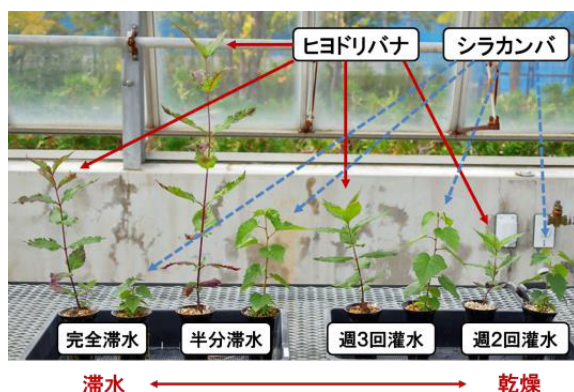


写真1 シラカンバとヒヨドリバナの成長

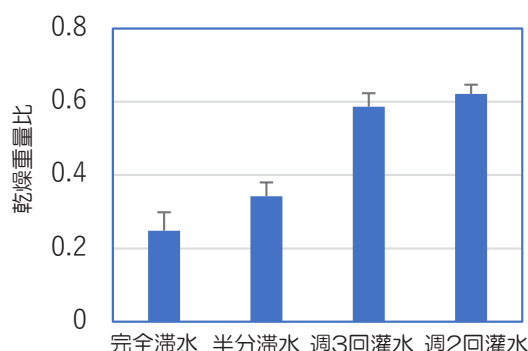


図1 シラカンバの乾燥重量/ヒヨドリバナの乾燥重量比

土壤水分条件に対する成長反応

シラカンバとヒヨドリバナの成長量は、半分滞水処理で最も大きくなりました（写真1）。一方で、根、枝、葉を含めたヒヨドリバナに対するシラカンバの総乾燥重量の比については、滞水処理で顕著な低下が認められたことから（図1）、土が常に湿っているような環境ではシラカンバの競争力が著しく低下することが示唆されました。

土壤水分条件に対する光合成反応

光合成活性の指標として、クロロフィル蛍光反応測定によって得られる光化学系Ⅱの最大効率（ F_v/F_m ）という指標を用いました。 F_v/F_m はクロロフィルで受け取った光をどれだけ光合成で使うことができるかの割合を表す指標です。健全な植物では、早朝、日の当たる前に測定した F_v/F_m の値は0.8を超えるくらいの値になることが知られています。シラカンバでは、完全滞水と半分滞水処理で生育した個体で、 F_v/F_m の値が低下し、0.8を下回る結果となりました（図2）。一方、ヒヨドリバナでは、 F_v/F_m に処理間の有意差は認められず、値も0.8を超える健全な数値を示していました。ヒヨドリバナでは、滞水環境でも根の機能を維持し、光合成活性の低下を防いでいることが考えられます。これらのことから、土が常に湿っているような環境では、シラカンバはヒヨドリバナへの競争力が大きく低下することが考えられます。

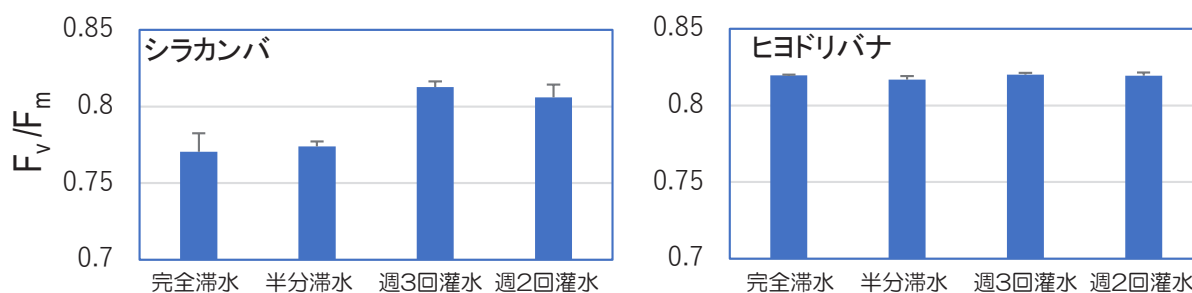


図2 シラカンバとヒヨドリバナの光合成活性（ F_v/F_m ）

3. 種子の確保

種子の確保は更新成功のための必須条件です。これまでの広葉樹林を対象とした種子の確保法としては、更新面の幅は主風方向に直角の母樹帯から樹高の2倍程度まで、あるいは更新面に中大径の母樹（胸高直径30cm程度以上）をhaあたり15～20本程度散在残存させる、と示されています。

一方、人工林内の帯状皆伐地における地がき後の更新状況をみると、本プロジェクトの調査地のうち、幾寅（南富良野町）、恵庭（恵庭市）では、シラカンバを主体に多数の更新木がみられましたが、湯ノ岱（上ノ国町）では更新木は少ない状況でした（表2）。これらの調査地について、皆伐地の伐採縁から25m以内の隣接林分内におけるカンバ類の母樹本数を調べたところ、幾寅26本、恵庭31本に対し、湯ノ岱はウダイカンバ1本だけでした。この結果から、カンバ類種子の飛散距離は100m程度はあるとされるものの、皆伐地に隣接した林分内の母樹は必須であると考えられます。なお、帯状皆伐前の人工林にカンバ類が混交している場合は、皆伐地に母樹として保残すれば有効ですが、それ以外の樹種（特に常緑針葉樹や広葉樹極相樹種）は天然更新が期待できないうえ、カンバ類等の陽樹の更新木を被陰してしまうので保残するべきではありません。

シラカンバ種子の豊凶の差は小さいとされます。そのため、更新期間を地がき翌年、翌々年の2年間とすると、大きな問題はないと考えられます。ただし、事業的に可能であれば、春の開花状況から凶作を避けて地がき作業を行うことが望ましいといえます。なお、種子供給量が少ない場合は、播種も検討事項の一つです。1m²あたり1g程度を播種します。

表2 地がき後の更新状況

樹種	幾寅 (5年目)	恵庭 (5年目)	湯ノ岱 (4年目)
シラカンバ	7,604	21,042	0
ウダイカンバ	885	1,458	1,583
ダケカンバ	52	0	0
ヤナギ類	1,250	1,667	0
キハダ	365	1,042	750
ヤマグワ	260	833	1,667
カラマツ	104	208	167
その他広葉樹	521	833	417
計	11,042	27,083	4,583

注) ・調査対象は低木種を除く樹高30cm以上の稚樹
・調査面積：幾寅192m²、恵庭48m²、湯ノ岱120m²
・単位：haあたり本数



写真2 湯ノ岱調査地における地がき後4年目の状況

地がき後4年目ですが、草本が繁茂し、ササも回復してきています。成長の早いカンバ類などの陽樹の更新木はほとんどなく、成林が不安視されます。この調査地のようにカンバ類の母樹が少ない場合は、播種や植栽を実施すべきです。

4. 地がき作業

1) 作業

土壌中のササを根系から除去するため、地がき作業には櫛の歯状のレーキドーザ、グラップルレーキやバケットつきグラップル（ザウルス）等を使用します。表土は振り落とすなど残すと更新木の成長が良くなりますが、埋土種子によるイチゴ類や大型草本の繁茂を助長する場合があります。そのため、母樹が少なかったり、大型草本繁茂が予想されるなど更新成績に不安がある場合は、表土戻しは行わず更新木の確保を優先します。なお、羊ヶ丘（札幌市）での地がき作業後2年目までの結果では、人工的な盛り土や天地返しによる顕著な効果は見いだせませんでした。

リサーチトピック 2

2) 仕様

一般には地がきは筋状に行いますが、ササの早期の回復と地がき面へのかぶりを防ぐため、地がき幅はできるだけ広くすることが望ましく、周辺ササ桿高の2倍以上（最小5m）とします。残し幅は5m程度までです。地がき筋の方向は種子や土壌の流出を防ぐため、急な傾斜地では斜面方向は避けます。やむを得ない場合は、斜面を水が走らないようにジグザグにするなどの工夫が必要です。

3) 時期

地がきは種子落下ピーク時期の前、7月～8月中旬までに実施します。シラカンバは早ければ7月から種子の散布が始まりますが、9月までに散布された種子は当年の秋に発芽し、翌春から大きく成長する場合があります。7月に入ったら早めに地がきを実施することが良い更新成績を導きます（ダケカンバでも同様の報告があります）。

地表処理法としての盛り土と天地返しを検証

盛り土と天地返し

地がきは土壌理化学性に優れた地表をササ根系と一緒に剥ぎ取ってしまうため、その後に定着した樹木の成長に悪影響を与える可能性があります。そこで、地表処理法として、盛り土（リター層、土壌A、B層の順番を上下逆にした土を掘った場所の隣に盛り上げる処理）、天地返し（同じように逆にした土を掘った穴に戻す処理）を試しました（図1）。これらの方法であれば、ササを土中に埋めて、かつ表層土壌の養分がその場に保持されるメリットが考えられます。

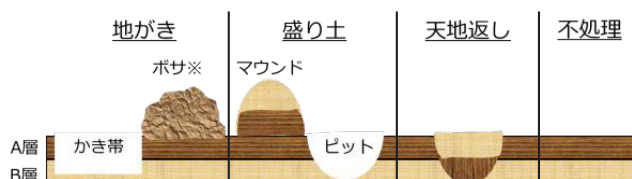


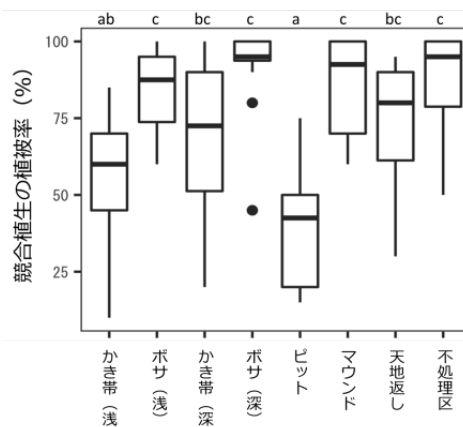
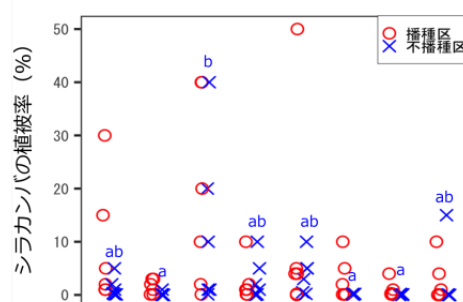
図1 各処理法の概念図

※ボサとは、地がきで生成されるササ根系、落ち葉、土砂等の混合物

図2（右図） 各処理区のシラカンバの植被率（上）と競合植生の植被率（下）

- ・地がき（浅）— 約5cmの地がき
 - かき帯（浅）： 浅く地がきした帯
 - ボサ（浅）： 地がきで発生したボサ
- ・地がき（深）— 約10cmの地がき
 - かき帯（深）： 深く地がきした帯
 - ボサ（深）： 地がきで発生したボサ
- ・盛り土処理
 - ピット： 掘られた凹地
 - マウンド： 盛り上げられたところ
- ・天地返し
- ・不処理区

それぞれシラカンバ種子を人工散布した播種区とそうでない不播種区があります。上図での異なるアルファベットは、不播種区における処理区間の多重比較で有意差があることを示します。下図での異なるアルファベットは、処理区間の多重比較で有意差があることを示します。



地表処理2年後のシラカンバの定着と競合植生の繁茂状況

地表処理2年後のシラカンバの植被率を調べたところ、約10cm地がきした区（かき帯（深））で、その植被率が高い傾向がみられました（図2上）。一方、盛り土処理のマウンドや天地返しでは、それほど高くありませんでした。

各処理区のシラカンバの最大高の平均は約13cmでしたが、大きい個体では75cmを超えるものもありました。深い地がき帯やピットに定着していた大きい個体は、地表処理後1年後からの1成長期で50cm以上の成長を示しており、土壌条件が良なくても光条件が良ければ、良い初期成長をする可能性が示唆されました。

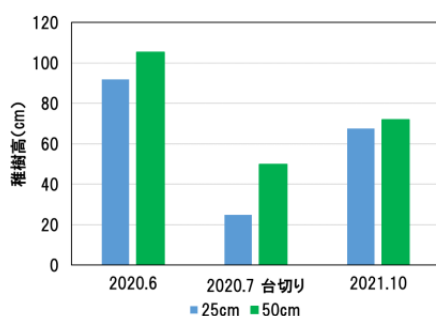
競合植生の植被率では、かき帯（浅）、かき帯（深）、ピットで小さく、マウンドと天地返しではほぼ100%に近くなっていました（図2下）。ほとんどの処理区で、オクヤマザサとワラビが優占していました。かき帯より深いピットの方でより植被率が小さいことから、競合植生の回復を遅らせるという点からみると、地がきは深く掘り下げた方が良いと考えられます。

盛り土と天地返しの効果

盛り土の土壌を調べたところ、炭素濃度、窒素濃度ともに、深くなるほど高くなる傾向がみられました。盛り土と天地返しでは表層土壌の養分を深いところに保持していることから、その上に定着したシラカンバは今後、成長が加速される可能性があるものの、実生の定着段階では通常地がきに勝っている点はみられませんでした。

5. 初期保育一下刈（刈出し）

これまで地がきなどの天然更新施業では、通常下刈などの初期保育は行わず自然に推移させていました。しかし、標高の低い人工林皆伐地や湿性土壌の地がき地では、翌年にはイチゴ類やヒヨドリバナなどの大型草本が侵入繁茂し、更新を阻害する場合があります。そのため、このような状況下では、更新木の発芽成長を促すために下刈を実施するべきです。可能であれば選択的な下刈（更新木の刈出し）が望ましいですが、シラカンバは萌芽能力が高いので、作業効率を考慮して稚樹も含め全面を刈払うことができます（図1）。地がき翌年、翌々年の天然更新木をターゲットとし、大型草本の繁茂状況をみて地がき後2年目もしくは3年目に実施するのが有効と考えられます。コストはかかり増しになりますが、植栽よりは大きなコストダウンとなりますので、確実な成林のため行いたい作業です。なお、下刈の時期が遅いとシラカンバの萌芽能力が低下しますので、7月上旬までに実施します。

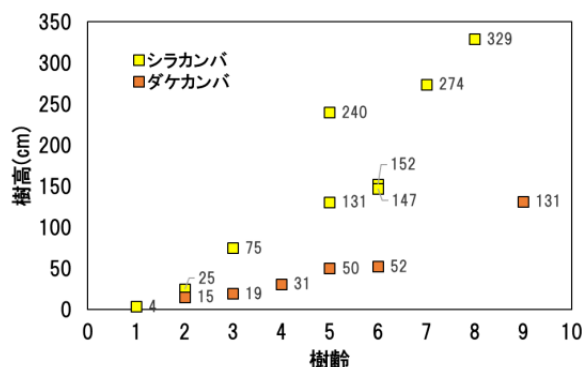


2種類の高さで台切りを実施したところ、両方とも9割以上の萌芽がみられ、シラカンバの萌芽能力は高いといえます。また、台切り高50cmよりも25cmの方が成長が良い傾向がみられました。過去の報告では台切り高は10cm以上を推奨していることから、下刈では10cm～30cm程度の高さで刈払うことが適当と考えられます。

図1 シラカンバの台切り試験結果（幾寅5年生時）

6. 更新完了の判断

更新完了の判断は、①潜在植生（一般にはササ）の高さを超えている更新木が、②判断時点で成林のため何本必要か、そして③更新面に均一にあるか、がポイントになります。地がきによって取り除かれたササの回復はササの種類によって異なり、クマイザサでは6～7年程度、チシマザサでは14～18年程度とされています。一方、同じカンバ類であっても初期樹高成長量は異なり、シラカンバはダケカンバに比べ大きい傾向があります（図2）。具体的な完了基準は、更新本数の違いによる成長経過を成林まで追った十分な数のデータがないため今後の検討事項ですが、更新完了の判断は年数を一律に設定せず、天然更新してくると予想される樹種の樹高成長と競合するササの潜在的な高さ（最大積雪深とほぼ一致します）を勘案し、地表面をササがおおむね覆った時期に、ササの高さを超えている更新木の状況をみて判断することが重要です。



シラカンバは調査地毎のデータ、ダケカンバは既報のデータの平均値です。これを見ると、ダケカンバよりシラカンバの樹高成長の方が大きいことがわかります。

図2 シラカンバとダケカンバの樹高成長比較

参考文献

- 小山浩正（2002）シラカンバの発芽フェノロジーと適応戦略としての意義。北海道林業試験場研究報告 39：1-38
 中野実・村井秀夫（1970）造林樹種の特性 前編 カンバ類の更新。北方林業叢書 46 118pp。北方林業会
 北方林業会（1988）天然林施業Q&A。125pp。北方林業会
 吉田俊也（2011）かき起こし施業の高度化へむけて-北大雨龍研究林での「表土戻し」の試み-。北方林業 63：6-9

地がき更新へのエゾシカの影響

エゾシカの生息状況

患庭調査地と幾寅調査地においてセンサーカメラを使用してエゾシカの生息状況を調査しました。その結果、月ごとの夜間撮影頭数をみると、幾寅調査地に比べ患庭調査地は撮影頭数が多く、このことが天然更新木の食害につながっていると考えられました（図1）。

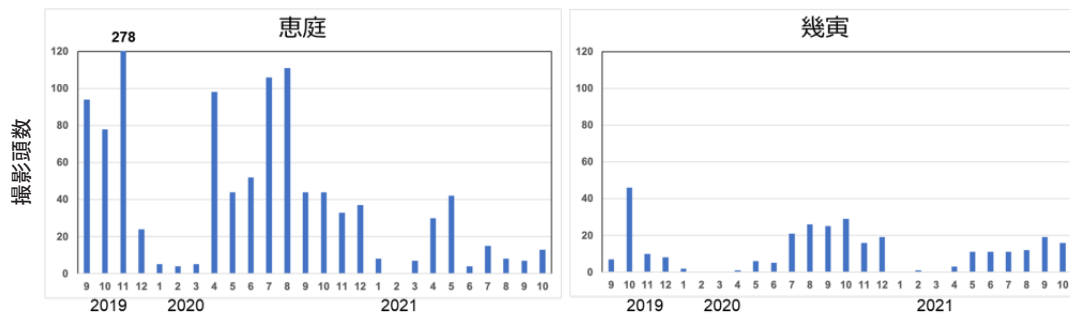


図1 センサーカメラによる月ごとの夜間撮影頭数

シカ柵の設置による地がき更新状況の比較

患庭調査地ではエゾシカの生息数が多いため、人工林帯状皆伐地（0.57ha）の半分をシカ柵で囲み、更新状況の比較調査を行いました。その結果、地がき後5年目の更新状況をみると、樹高30cm以上の稚樹の本数、樹高ともに明らかにシカ柵内の方が上回っており、エゾシカの食害が更新へ与える影響は甚大であることがわかりました（図2、3）。

今回の結果は、エゾシカの生息頭数が多くてもシカ柵を設置すれば更新が成功することを示していますが、設置には多大な費用がかかるため、地がき更新のみならず広葉樹の更新育成を図るためには、現在北海道で進めている頭数管理を徹底して実行していくことが必要と考えられます。

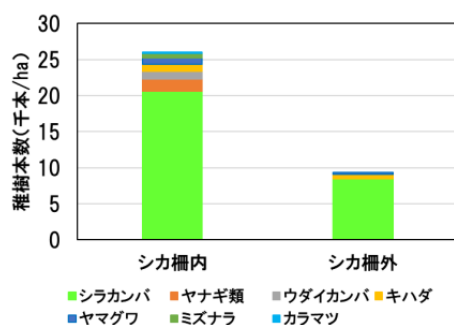


図2 地がき5年目のシカ柵内外の稚樹本数の比較

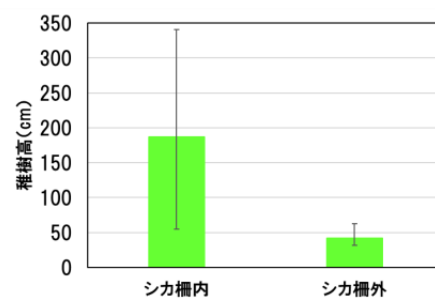


図3 地がき5年目のシカ柵内外のシラカンバ稚樹高の比較

調査面積はシカ柵内48m²、シカ柵外32m²。図3の線の上下端は最大、最小を示します。



写真1 ドローンによる画像（2021年10月撮影）



写真2 シカ柵内外の状況（2021年10月撮影）

Ⅱ. シラカンバ林の成長予測

林分調査結果と新たに設けた間伐試験地の調査結果を用いて、シラカンバ林の伐期に向けた成長予測を行いました。

1. シラカンバ林地位指数曲線

本プロジェクトで収集したシラカンバ林分調査データ（地がき林、人工林）の上層樹高（樹高を高いものからヘクタール当たり250本抽出した平均値）を用いて、地位指数曲線を作成しました（図1）。ガイドカーブは最も当てはまりの良かったミッチャーリッヒ式を適用しました。なお、基準林齢は40年として地位指数（SI）を求めています。ガイドカーブを既報（猪瀬ら 1992）と比較すると、上方向にシフトしました。これは既報では高齢の林分データが不足していたためと考えられます。なお、地がき林分を基準にしていますので、人工林に適用する場合には、対象林分の林齢に2年（一般的な苗齢）を加えて林齢として下さい（表1）。

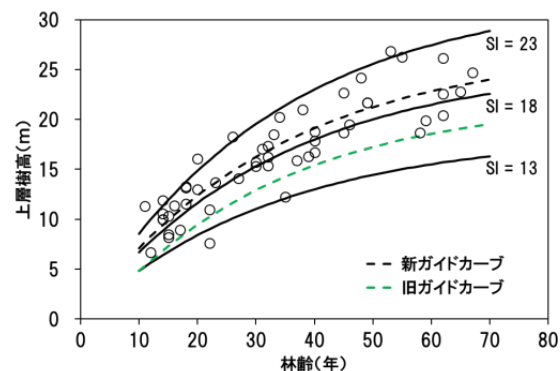


図1 シラカンバ林地位指数曲線

SI：地位指数

表1 シラカンバ林地位指数表

year/SI	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
10	4.8	5.2	5.6	5.9	6.3	6.7	7.1	7.4	7.8	8.2	8.5
11	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.3	7.7	8.1	8.5	8.9	9.3
12	5.6	6.1	6.5	6.9	7.4	7.8	8.2	8.7	9.1	9.5	10.0
13	6.0	6.5	6.9	7.4	7.9	8.3	8.8	9.3	9.7	10.2	10.6
14	6.4	6.9	7.4	7.9	8.4	8.8	9.3	9.8	10.3	10.8	11.3
15	6.7	7.3	7.8	8.3	8.8	9.3	9.9	10.4	10.9	11.4	11.9
16	7.1	7.6	8.2	8.7	9.3	9.8	10.4	10.9	11.5	12.0	12.6
17	7.4	8.0	8.6	9.2	9.7	10.3	10.9	11.4	12.0	12.6	13.2
18	7.8	8.4	9.0	9.6	10.2	10.8	11.4	12.0	12.6	13.2	13.7
19	8.1	8.7	9.3	10.0	10.6	11.2	11.8	12.4	13.1	13.7	14.3
20	8.4	9.0	9.7	10.3	11.0	11.6	12.3	12.9	13.6	14.2	14.9
21	8.7	9.4	10.0	10.7	11.4	12.1	12.7	13.4	14.1	14.7	15.4
22	9.0	9.7	10.4	11.1	11.8	12.5	13.1	13.8	14.5	15.2	15.9
23	9.3	10.0	10.7	11.4	12.1	12.8	13.6	14.3	15.0	15.7	16.4
24	9.6	10.3	11.0	11.8	12.5	13.2	14.0	14.7	15.4	16.2	16.9
25	9.8	10.6	11.3	12.1	12.8	13.6	14.4	15.1	15.9	16.6	17.4
26	10.1	10.9	11.6	12.4	13.2	14.0	14.7	15.5	16.3	17.1	17.8
27	10.3	11.1	11.9	12.7	13.5	14.3	15.1	15.9	16.7	17.5	18.3
28	10.6	11.4	12.2	13.0	13.8	14.6	15.5	16.3	17.1	17.9	18.7
29	10.8	11.6	12.5	13.3	14.1	15.0	15.8	16.6	17.5	18.3	19.1
30	11.0	11.9	12.7	13.6	14.4	15.3	16.1	17.0	17.8	18.7	19.5
31	11.3	12.1	13.0	13.9	14.7	15.6	16.5	17.3	18.2	19.1	19.9
32	11.5	12.4	13.3	14.1	15.0	15.9	16.8	17.7	18.6	19.4	20.3
33	11.7	12.6	13.5	14.4	15.3	16.2	17.1	18.0	18.9	19.8	20.7
34	11.9	12.8	13.7	14.6	15.6	16.5	17.4	18.3	19.2	20.1	21.1
35	12.1	13.0	14.0	14.9	15.8	16.7	17.7	18.6	19.5	20.5	21.4
36	12.3	13.2	14.2	15.1	16.1	17.0	18.0	18.9	19.8	20.8	21.7
37	12.5	13.4	14.4	15.4	16.3	17.3	18.2	19.2	20.2	21.1	22.1
38	12.7	13.6	14.6	15.6	16.5	17.5	18.5	19.5	20.4	21.4	22.4
39	12.8	13.8	14.8	15.8	16.8	17.8	18.8	19.7	20.7	21.7	22.7
40	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0
41	13.2	14.2	15.2	16.2	17.2	18.2	19.2	20.3	21.3	22.3	23.3
42	13.3	14.4	15.4	16.4	17.4	18.5	19.5	20.5	21.5	22.6	23.6
43	13.5	14.5	15.6	16.6	17.6	18.7	19.7	20.7	21.8	22.8	23.9
44	13.6	14.7	15.7	16.8	17.8	18.9	19.9	21.0	22.0	23.1	24.1
45	13.8	14.8	15.9	17.0	18.0	19.1	20.1	21.2	22.3	23.3	24.4
46	13.9	15.0	16.1	17.1	18.2	19.3	20.3	21.4	22.5	23.6	24.6
47	14.1	15.1	16.2	17.3	18.4	19.5	20.5	21.6	22.7	23.8	24.9
48	14.2	15.3	16.4	17.5	18.6	19.6	20.7	21.8	22.9	24.0	25.1
49	14.3	15.4	16.5	17.6	18.7	19.8	20.9	22.0	23.1	24.2	25.3
50	14.4	15.6	16.7	17.8	18.9	20.0	21.1	22.2	23.3	24.4	25.6
51	14.6	15.7	16.8	17.9	19.1	20.2	21.3	22.4	23.5	24.7	25.8
52	14.7	15.8	16.9	18.1	19.2	20.3	21.5	22.6	23.7	24.9	26.0
53	14.8	15.9	17.1	18.2	19.4	20.5	21.6	22.8	23.9	25.0	26.2
54	14.9	16.1	17.2	18.4	19.5	20.6	21.8	22.9	24.1	25.2	26.4
55	15.0	16.2	17.3	18.5	19.6	20.8	22.0	23.1	24.3	25.4	26.6
56	15.1	16.3	17.5	18.6	19.8	20.9	22.1	23.3	24.4	25.6	26.8
57	15.2	16.4	17.6	18.7	19.9	21.1	22.3	23.4	24.6	25.8	26.9
58	15.3	16.5	17.7	18.9	20.0	21.2	22.4	23.6	24.8	25.9	27.1
59	15.4	16.6	17.8	19.0	20.2	21.4	22.5	23.7	24.9	26.1	27.3
60	15.5	16.7	17.9	19.1	20.3	21.5	22.7	23.9	25.1	26.3	27.5

シラカンバ林の間伐効果と成長予測

シラカンバ二次林での間伐試験

2019年4月に北海道支所実験林内のシラカンバ二次林（14年生）に4つの処理による間伐試験地を設定し、各処理区の毎木調査（胸高直径）と間伐を実施しました（図1）。800本/ha区、400本/ha区は、配置を考慮しつつ、設定本数に向け下層から間伐木を選木しました。それぞれの本数間伐率は、85%、86%となります。そして、3成長期経過後の2021年10月に各処理区の再調査を実施しました。

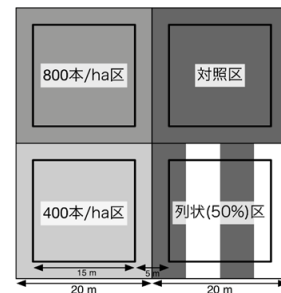


図1 間伐試験配置図

3成長期間後の変化

間伐後3成長期経過後の立木密度は、自然枯死により列状区、対照区は減少しましたが、400本/ha区、800本/ha区では枯死木はなく、立木密度に変化はありませんでした（図2左）。平均胸高直径は400本/ha区、800本/ha区ともに1成長期あたりの成長量はおよそ1cmでしたが、列状区、対照区では0.5cm程度でした。3成長期間の結果ですが、列状区では対照区と成長量があまり変わらず、400本/ha区と800本/ha区は、そのおよそ2倍の成長量があったことになり、間伐の効果が現れたと考えられます。

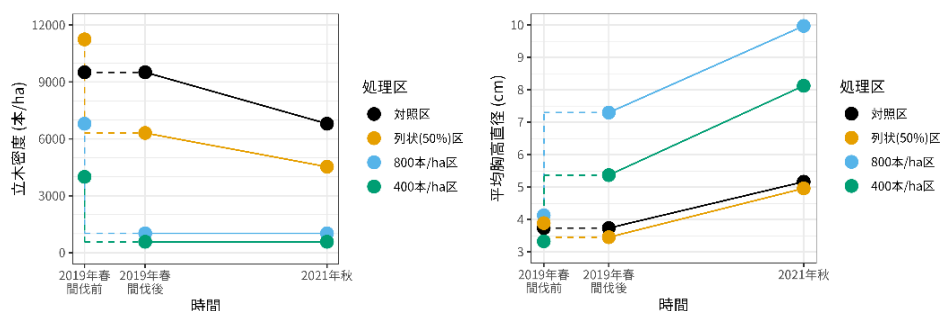


図2 間伐前後および3成長期経過後の立木密度（左）と平均胸高直径（右）の変化

胸高直径分布の変化と予測

800本/ha区について間伐前後と3成長期経過後の胸高直径分布に、分布形状を表現できる確率密度関数であるワイブル分布をあてはめた結果を図3に示します。間伐では下層の小径木を伐採したため、間伐後にはその部分が欠けたような分布になりました。3成長期経過後をみると、成長に伴い分布が全体に右の方に移動しており、胸高直径の相対成長率が直径階にかかわらずほぼ一定の値となっていることがわかりました。これは低密度にまで間伐したことにより、相互被陰が無視できるようになったためと考えられます。この結果を利用して、この処理区では今後もワイブル分布の形状パラメータ・位置パラメータが変化せず、尺度パラメータだけが增加すると仮定しました。この仮定のもとで平均胸高直径が20cmになった状態と、30cmになった状態の胸高直径分布を予測すると、図4のようになりました。ワイブル分布の確率密度分布を利用すると、例えば平均胸高直径30cmとなった場合、胸高直径40cm以上の立木が全体の17%となると予測できます。

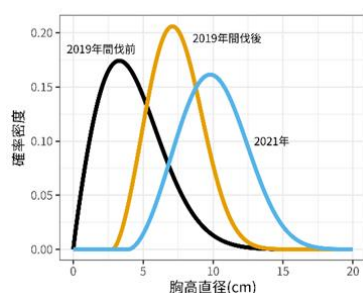


図3 800本/ha区の間伐前後および3成長期経過後の、ワイブル分布にあてはめた胸高直径分布の変化

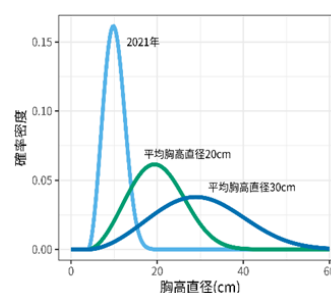


図4 800本/ha区で胸高直径が一定の比率で増加すると仮定したときの、胸高直径分布の予測

2. シラカンバ林の収穫予測

1) 林分収穫予測

作成した地位指数曲線（7ページの図1）と収集したシラカンバの天然更新林と人工林の調査データを利用して、地位指数13、18、23、伐期を一般的な針葉樹人工林にあわせて40年、60年としたシラカンバ林の収穫予測を行いました（表2）。なお、データ数が十分ではないため、表中の数値は現時点での暫定的な位置づけです。

表2 シラカンバ林の林分収穫予測

地位指数	林齢* (年)	上層樹高 (m)	平均樹高 (m)	平均直径 (cm)	立木本数 (本/ha)	幹材積 (m ³ /ha)
13	40	13.0	10.5	11.4	1410	102
	60	15.5	13.1	14.3	1031	127
18	40	18.0	15.8	17.2	794	153
	60	21.5	19.7	21.6	580	190
23	40	23.0	21.5	23.6	515	207
	60	27.5	26.8	29.5	376	258

* 人工林に適用する場合、対象林分の林齢に2年（一般的な苗齢）を加えて林齢として下さい。

2) 胸高直径階ごとの収穫予測

林分収穫予測結果をもとに、伐期を40年とした場合の地位指数13、18、23の胸高直径階本数の予測を無間伐、間伐別に行いました。前提条件は以下のとおりです。

- 胸高直径分布はワイブル分布に従うとしました。
- 無間伐の場合は、表2の各地位指数ごとの幹材積と、これまでの調査地における実測値から想定される40年生時におけるワイブル分布のパラメータの値により、胸高直径分布を予測しました。
- 間伐の場合は、林齢40年生時の立木本数を地位指数13で800本/ha、18で400本/ha、23で300本/haとなるようにしました。幹材積は表2の各地位指数の値を想定しました。
- 間伐方法は、想定した本数を目標に、林齢10年生時に下層間伐を行うとしました。また、間伐後は、伐期までは形状パラメータは変わらないと仮定しました。これは間伐試験地の結果（リサーチトピック4）から、初期に低密度に落とす間伐を行った場合には、胸高直径によらず一定の比率で成長すると想定できたためです。

以上の条件で地位指数ごとの間伐・無間伐の胸高直径分布を比較したのが図2です。地位指数がいずれの場合でも、間伐林分の方が大きな直径の材の本数が多くなっています。この予測結果は前提条件によって変わる可能性はありますが、シラカンバの初期成長は極めて大きいことや、同じカンバ類のダケカンバでもすでに提案（佐野・渋谷 2015）されていることを考えると、初期に低密度に落とす間伐を行うことが、できるだけ太い材を生産するために有効であると考えられます。

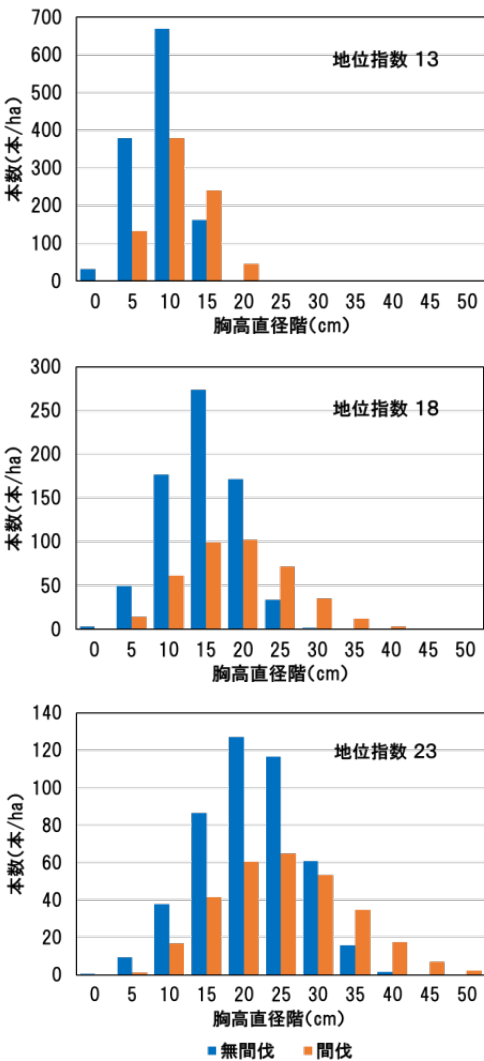


図2 伐期40年の場合の地位指数ごとの胸高直径階本数予測

胸高直径階0は0～5cm未満、5は5～10cm未満を示します。他の直径階も同じです。

北海道産カンバ類の用途と価格

カンバ類の用途と価格帯

広葉樹の多くの樹種に共通の用途として、突板・一枚板、積層材・ロータリー単板、家具用製材、床板用製材、製紙用木材チップなどがあります。成形合板中芯にはいくつかの樹種とともにカンバ類（材の商業名は表2参照）が好んで用いられます。カンバ類に特有の用途としては、マカバ・メジロカバのピアノ側板・ハンマーシャンク、ザツカバこぶ材のパークゴルフクラブヘッド、シラカバの割り箸・爪楊枝等、きのこ菌床用おが粉などがあります（表1）。

表1 カンバ類の用途別最小径級と価格帯

用途	最小末口径級	価格帯（円/m ³ ）
突板・一枚板	一枚板：60cm台半ば以上 突板：40cm上	200,000～
積層材・ロータリー単板	30cm上	80,000～150,000
家具用製材	〃	40,000～70,000
床板用製材	20cm上	20,000～35,000
成形合板中芯	〃	12,000～13,000
割り箸・爪楊枝等	〃	12,000～13,000
きのこ菌床用おが粉	—	9,500
製紙用木材チップ	—	8,500

価格帯はコロナの影響が生じる直前（2019年頃）の相場で、床板用製材までは銘木市での落札価格、成形合板中芯以下は工場着価格です。最小径級は直材の場合で、曲がり材では一般にもっと大きな径が必要です。

表2 カンバ材の種名と商業名

商業名	種名	その他の条件
マカバ	ウダイカンバ	心材率高い
メジロカバ	〃	心材率低い
ザツカバ	ダケカンバ	ビスフレック目立たない
シラカバ	〃	ビスフレック目立つ
〃	シラカンバ	

商業上は分類学上の種の違いよりも用途や価格の違いが優先されるため、種名と商業名は一致せず、カンバ材については、上表のようになります。

カンバ類の価格と径級

製紙用や菌床用より価格が高い用途に使われるためには、末口径20cm以上であることが一つの目安となります。旭川銘木市におけるカンバ類の径級と落札価格の関係をみると、径級だけで価格が決まるわけではありませんが、一般に太いほど高い傾向があります（図1）。

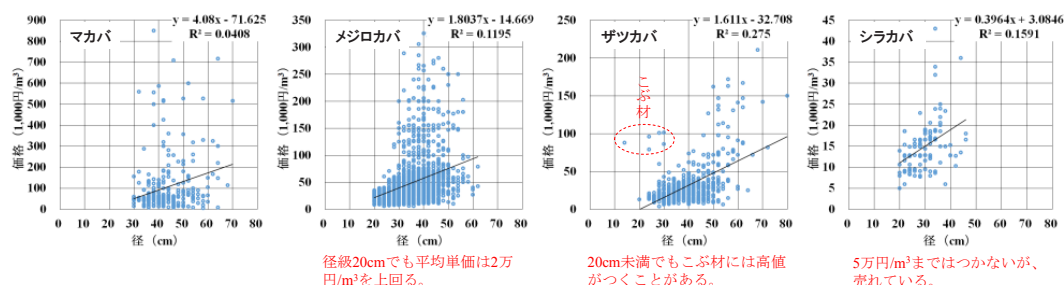


図1 旭川銘木市におけるカンバ類の径級と落札価格の関係

銘木市への出荷の時期

同じ旭川銘木市におけるザツカバ（ダケカンバ）の平均単価の月別動向をみると、冬季に高い傾向があることから、より高い価格で販売するためには、冬季に出荷することが望ましいといえます。これは夏季の出荷材は変色など傷みやすいからです（図2）。

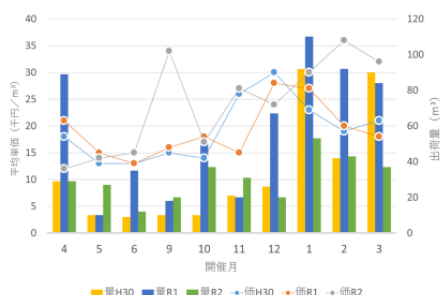


図2 旭川銘木市におけるザツカバの月別平均単価



写真1 旭川銘木市

Ⅲ. 地がきカンバ林の施業適地

既存の林分調査データを用いて、カンバ（シラカンバ、ダケカンバ）林の地位指数分布予測を行いました。また、予測された地位指数に基づく経営収支の予測を行い、その結果をもとに北海道における地がきカンバ林の施業適地を示しました。なお、経営収支および施業適地の予測は、地がきが可能な立地条件でエゾシカの食害がなく、地がきによる天然更新により成林することを前提としました。

1. カンバ（シラカンバ、ダケカンバ）林の地位指数分布予測

生物多様性基礎調査の第3期データ(林野庁提供、以下「NFIデータ」と呼称)からカンバ類（ウダイカンバ含む）に関する分布情報を抽出し、環境要因（気候、地質）との関係を統計モデル（多変量ランダムフォレスト）によって解析しました。構築したモデルから、北海道におけるカンバ類の生育適地を予測しました。

次に、NFIデータからシラカンバ、ダケカンバが出現する自然林に関するデータを抽出し、林齢50年以上の林分における上層木（樹高が上位50%の個体）の樹高平均値を最大樹高と仮定して算出しました。この最大樹高を環境（気候、地質）から説明する統計モデル(ランダムフォレスト)を構築し、生育適地におけるシラカンバ、ダケカンバの最大樹高を3次メッシュ(約1km四方)ごとに予測しました。得られた最大樹高の予測値と、シラカンバについては本プロジェクト（前述Ⅱ.）、ダケカンバについては前プロジェクトで作成した地位指数曲線から求めた地位階級ごとの最大樹高を比較し、最も近い値になる地位階級を当該メッシュの地位階級として付加することで、生育不適地を除く全道のシラカンバ、ダケカンバの地位指数予測マップを作成しました（図1）。

解析の結果、シラカンバは冷温帯に属する夏冬の気温差が大きい地域で、かつ夏期降水量が500mm程度と少なく、冬期の最大積雪深が60cm以上で、特定の地質（古生代・変成岩類の結晶片岩）で地位指数が高いことが示唆されました。ダケカンバは最大積雪深が60cm以下と少なく、夏期降水量が600mm程度で、特定の地質（古第三紀の砂岩等で形成される堆積岩）で地位指数が高いことが示唆されました。また、両種とも、火山灰・ロームでは、地位指数が低いことがわかりました。分布状況をみると、シラカンバは、道北や道東北部、道央南西部などの盆地や丘陵地で地位指数が高いのに対し、ダケカンバは、釧路や日高、道北の山地などで地位指数が高いと予測されました。

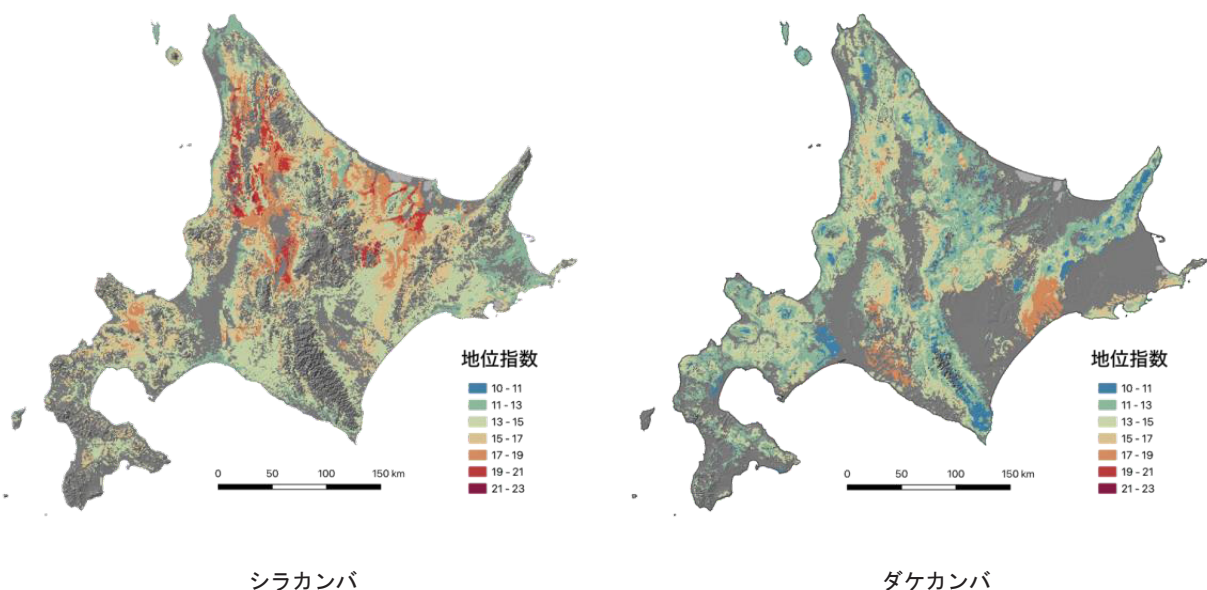


図1 地位指数分布予測結果

図中の灰色は、解析対象外（生育適地外）のエリアを示します。

2. 地がきカンバ林の経営収支予測

それぞれの場所において予測したシラカンバ林、ダケカンバ林の地位指数に基づき素材収入を算出するとともに、育林費（地がき費）や主伐費を立地条件を考慮して算出し、林地傾斜が 20° 以下で地がきが可能な場所における地がき更新による経営収支を予測し、マップ化しました（図2、図3）。素材収入は、林分調査データに基づき、地位階級ごとに伐期を40年と60年とした場合の材積と径級分布を算出し、聞き取り調査や銘木市における落札価格などから算出した径級別の単価に掛けることで算出しました。求められた素材収入から、育林費（地がき費用：斜度10度以下 232,453円/ha、10度超 257,112円/ha）と主伐費（5,770円/ha）からなる支出（共に間接費込み、獣害対策費用は含まず）を差し引き、経営収支を求めました。さらに、シラカンバ林においては、前述のⅡ. で示した間伐による径級分布予測を反映させ、支出に間伐費（78,300円/ha）を加えた経営収支を求め、マップ化しました（図2下列）。

その結果、シラカンバ林は、間伐無の場合、40年、60年伐期のいずれにおいても、全域で収支がプラスになると予測されました（図2上列）。中でも、道北や道東北部、道央南西部などの盆地や丘陵地で特に収支が良いと予測されました。伐期齢で比較すると、40年よりも60年の方が材積の増加と大径化による単価上昇に伴い、収支が全域的に改善される結果となりました。また、間伐有の場合は、径級は間伐無に比べて増大しますが、地位指数が低く元々の径級が小さい場合、径級増大による単価の上昇幅が小さいため素材収入が増えず、間伐費が支出に加わることでかえって収支がマイナスになると予測されました（図2下列）。一方、地位指数が高い場所では、大径化が顕著となることから単価の上昇幅も小径級に比べて大きくなるため収入が増加し、間伐を入れない場合より収支が改善されると予測されました。この傾向は、60年伐期においても同様でした。以上から、地がきシラカンバ林における間伐は、地位指数が低い場所ではあまり効果的ではないですが、地位指数が高い場所では有効であることが示唆されました。

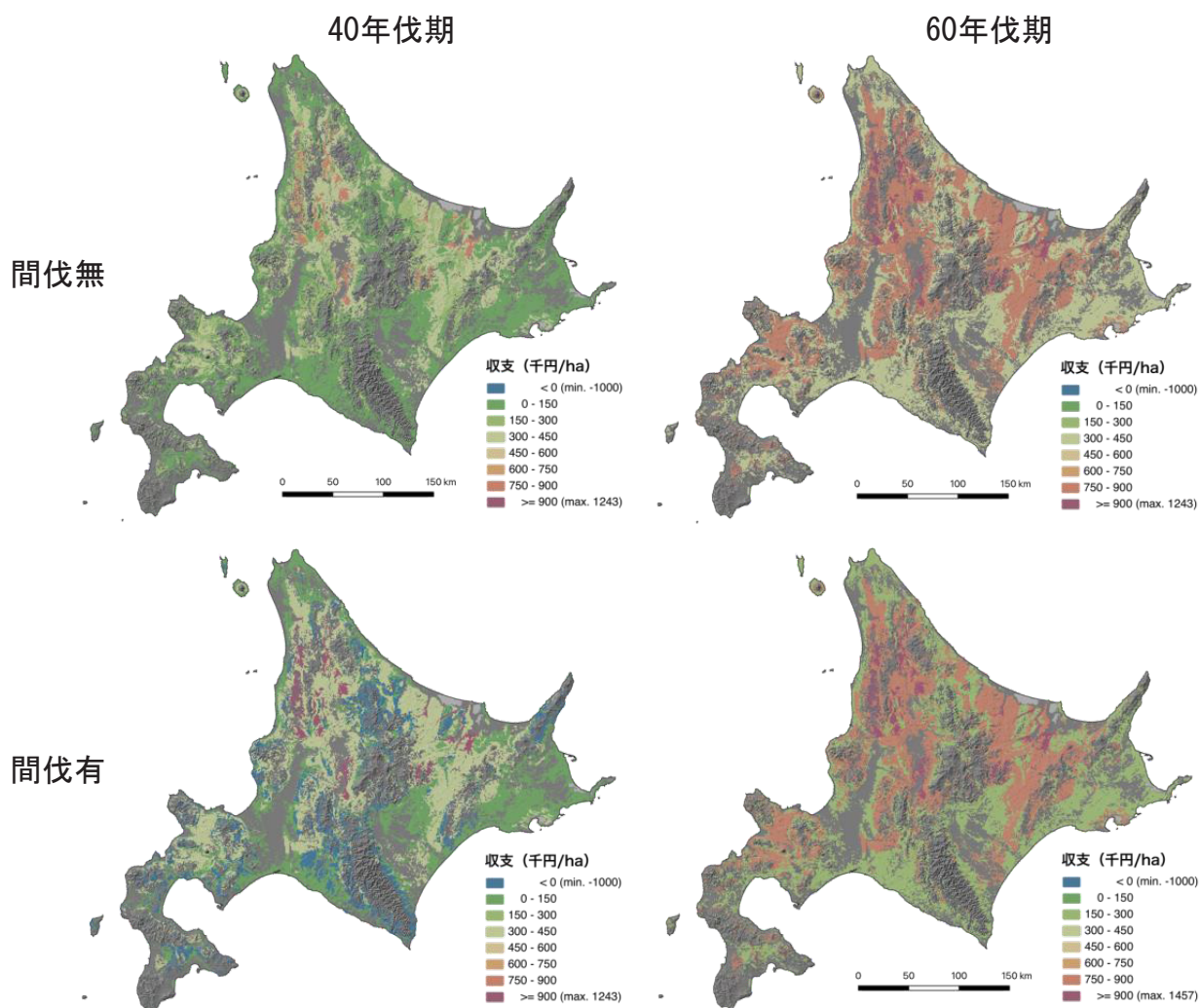


図2 地がきシラカンバ林の経営収支の予測マップ

上段は間伐無、下段は間伐有で、40年伐期（左列）と60年伐期（右列）で施業した場合の経営収支を示します。図中の灰色は、解析対象外（生育適地外）のエリアを示します。

ダケカンバ林においても同様の方法で経営収支を予測しました。ただし、間伐のデータがないため無施業の場合のみです。この結果をみると、40年伐期では、収支がマイナスの場所が高標高域や火山灰地などを中心に予測された一方、60年伐期では、全域で収支がプラスになると予測されました。ダケカンバは、大径化による単価の上昇が顕著なため、収量が少なく径級も小さい40年伐期では、地位指数が低い場所では素材収入が低くなりマイナス収支となりますが、伐期を60年まで延ばすと、大径化が素材収入の増加に大きく貢献するため、このような結果になったと考えられます。

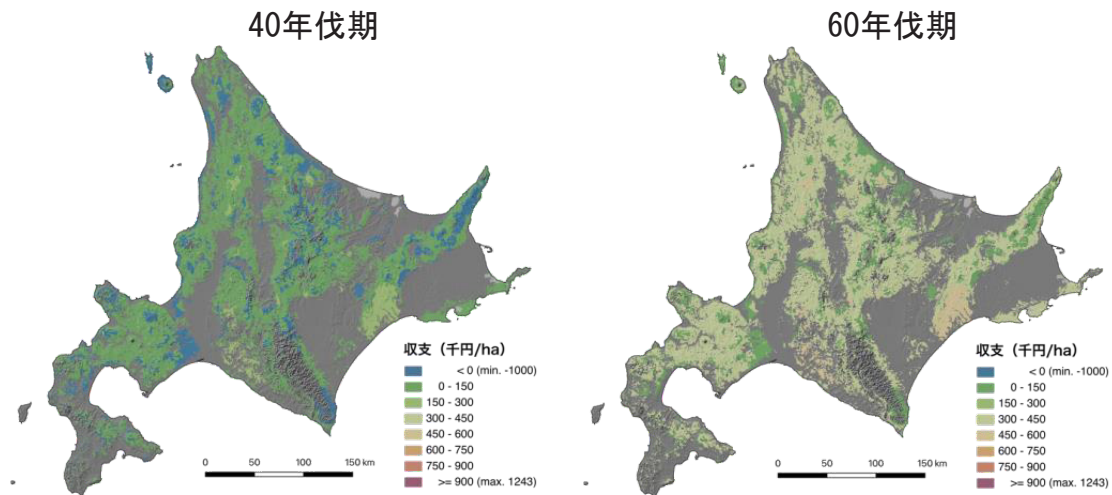


図3 地がきダケカンバ林の経営収支の予測マップ

左は40年伐期、右は60年伐期で施業した場合の経営収支を示します。

3. 地がきカンバ林の施業適地の予測

地がきカンバ林の施業適地を明らかにするため、シラカンバ林とダケカンバ林について、予測した経営収支に基づいた比較を行い、有利な地がきカンバ林のタイプと不適な場所をマップ化しました（図4）。具体的には、2種類の地がきカンバ林のうち、収支が良かった方をその場所における有利な施業タイプとし、どちらもマイナス収支だった場合は、施業不適地と判定しました。

その結果、40年伐期の場合、低標高域ではシラカンバ林が、高標高域ではダケカンバ林が有利な施業タイプになる傾向がみられました。一方で、高標高域の一部などで、施業不適地が予測されました。60年伐期の場合も同様の傾向がみられましたが、40年伐期で不適地となった高標高域などにおいても、地がきダケカンバ林による施業が成り立つと予測されました。このことは、ダケカンバが更新した場合は、伐期を長くした方が有利であることを示しています。

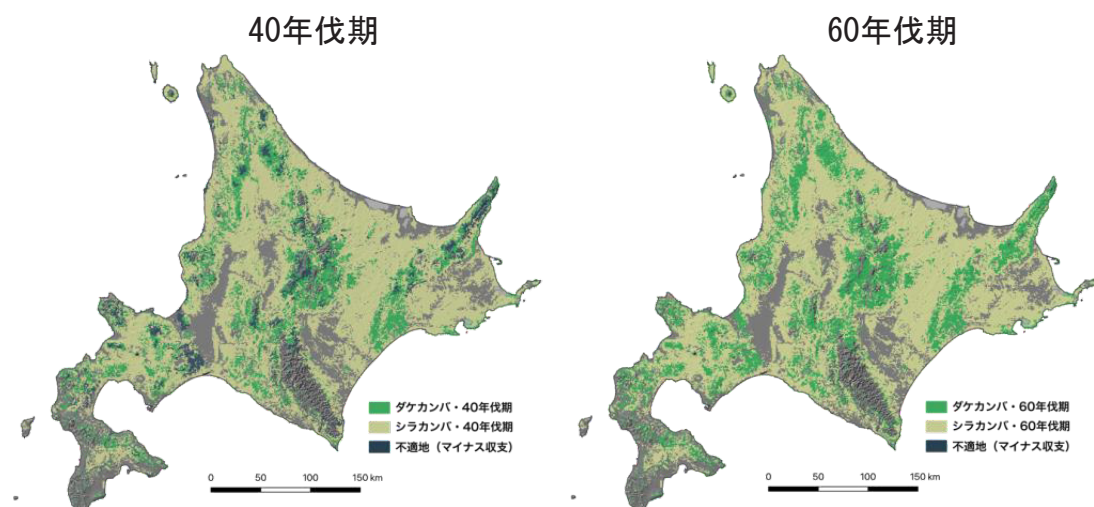


図4 地がきカンバ林の施業適地マップ

左は40年伐期、右は60年伐期でシラカンバ林とダケカンバ林の経営収支を比較した場合を示します。図中の灰色は、解析対象外（シラカンバおよびダケカンバの生育適地外）のエリアを示します。

地がきカンバ林と人工林との経営収支の比較

地がきカンバ林の経営収支を、過去の交付金プロジェクトで得られた針葉樹人工林の経営収支（詳しくはこちらを参照：<https://www.ffpri.affrc.go.jp/pubs/koufu-pro/documents/seikasyu83.pdf>）と比較することで、北海道のそれぞれの場所における経営上有利な施業法の予測マップを作成しました。地がきカンバ林の40年、60年伐期と、針葉樹人工林（トドマツ、カラマツの40年伐期）について、収支を年間額に割り戻し、最も収支が良かった施業タイプを経営上有利な施業と判定し、マップ化しました（いずれも補助金なしを想定）。針葉樹人工林については、従来型の作業システム（作業道利用型：チェーンソー伐倒－グラブプルでの木寄せ－ハーベスタでの造材－フォワーダでの運搬）を用いた場合の結果を使用しました。なお、カンバ林・針葉樹人工林ともに、搬出時の森林作業道走行はなく、作業工程間の待ち時間はないケースを想定しています。

その結果、地がきカンバ林を40年伐期とした場合、道北や日本海側などの多雪地域や、根室地方を中心に、地がきカンバ林が針葉樹人工林に比べ有利な施業タイプとなることが示唆されました（図1左）。多雪地域においては、トドマツの場合植栽後7～9年間、カラマツで5～6年間の下刈が必要となるのに対し、地がきカンバ林では1回の地がきで育林作業を済ませることが可能です。こうした育林費の差が、多雪地で地がきカンバ林が有利となる主な要因と考えられます。地がきカンバ林を60年伐期にした場合（図1右）についてもほぼ同様の傾向でしたが、オホーツク地方や日高地方などの一部で地がきシラカンバ林がカラマツ人工林より有利になると予測されました。なお、スギに関する評価を行っていないため、道南地方に関しては解釈に注意が必要です。

以上の結果から、現在針葉樹人工林となっている林分の主伐後の施業法として、地がきができる立地（緩傾斜など）で天然更新が成功し、かつエゾシカの食害の影響がないという条件のもとですが、特に多雪地域において地がきカンバ林が有力な候補となり得ることが明らかになりました。

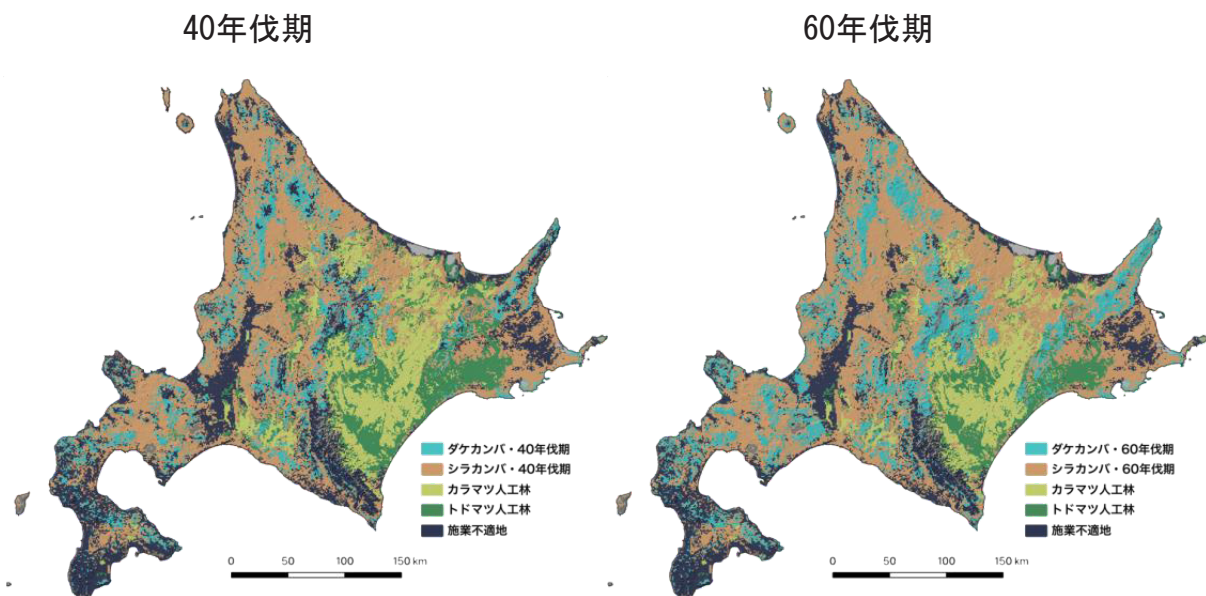


図1 地がきカンバ林と針葉樹人工林の経営収支に基づく比較マップ

トドマツ・カラマツ人工林は従来型の施業システム（作業道利用型）を想定しました。左は40年伐期の地がきカンバ林を、右は60年伐期の地がきカンバ林を含めて比較した場合の最も収支が良かった施業タイプを示します。図中の灰色は、解析対象外のエリアを示します。



シラカンバ *Betula platyphylla*

国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 北海道支所

〒062-8516 札幌市豊平区羊ヶ丘7番地

編集・発行：森林総合研究所 北海道支所

発行日：令和4（2022）年3月31日

お問い合わせ先：地域連携推進室

電話：011-590-5503

e-mail：www-ffpri-hkd@gp.affrc.go.jp

本書の引用記載：森林総合研究所北海道支所（2022）循環的なカンバ林業をめざして－地がきを利用した施業管理技術－，第5期中長期計画成果13（森林産業-4），14pp.

※ 本誌掲載内容の無断転載を禁じます。

