

トドマツ人工林主伐後の更新技術 —天然更新の活用でコスト低減をめざす—



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4期中長期計画成果23(持続的林業-5)

はじめに

道内人工林面積の52%を占めるトドマツは伐期を迎えつつありますが、材が腐朽しやすいこともあり長伐期化は難しく、速やかな主伐の実施が必要となっています。主伐後は更新作業が必要になりますが、更新面積の急速な増加は造林費の増大を招くため、特に更新初期コストの大幅な低減が課題です。現在、更新初期コストの低減のため、コンテナ苗や高性能林業機械の導入などが進められていますが、天然更新が活用できればより大きなコストの低減が期待できます。

そこで森林総合研究所北海道支所では、所内の交付金プロジェクトとして「トドマツ人工林主伐に対応した低コスト天然更新施業・管理システムの開発」を平成27年度から30年度まで4年間実施し、トドマツ人工林主伐後の植栽に代わる更新方法として「地がきによるカンバ更新」と「トドマツ天然更新」をとりあげ、その施業技術の検討を行いました。また、これらの更新方法を適切に選択できる基盤情報として、全道のトドマツ人工林について成長状況などをもとに経営評価を行い、これらの施業方法との経営収支を比較検討できるようにしました。

天然更新技術はこれまでも試験研究が行われてきましたが、不確実性が避けられず必ずしも簡単な技術ではありません。研究途上ではありますが、この冊子にこれまでの成果の要点をとりまとめましたので、現場での実際の施業実行に役立てて頂ければ幸いです。

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および各森林管理署の皆様感謝申し上げます。

執筆者：

河原 孝行（主査）	石橋 聡（副査）	相澤 州平
飯田 滋生	伊藤 江利子	伊東 宏樹
上村 章	梅村 光俊	尾崎 研一
北尾 光俊	倉本 恵生	佐々木 尚三
嶋瀬 拓也	佐藤 重穂	佐山 勝彦
中西 敦史	関 剛	辰巳 晋一
津山 幾太郎	延廣 竜彦	橋本 徹
韓 慶民	古家 直行	矢部 恒晶
原山 尚徳		山口 岳広
山中 聡		

目次

地がきカンバ更新

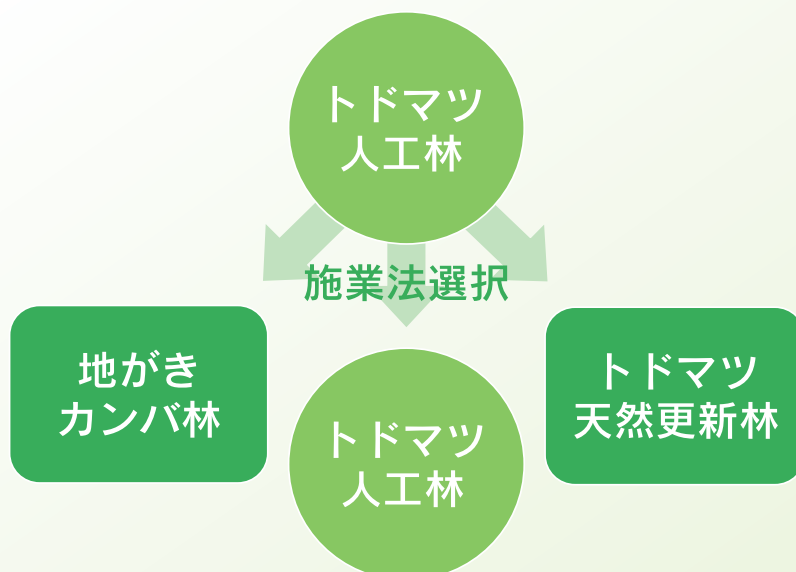
トドマツ人工林皆伐跡の地がきによるカンバ更新	1
カンバ天然更新のための地がき作業法	3
地がきによる隣接トドマツ人工林立木の根系損傷	5
地がきによるカンバ林が昆虫多様性に与える影響	6

トドマツ天然更新

上木伐採によるトドマツ前生稚樹の枯死原因	7
トドマツ前生稚樹を活用して更新を図る施業方法	9

施業法選択

トドマツ人工林の経営評価	11
トドマツ人工林主伐後の施業法選択	13



トドマツ人工林皆伐跡の地がきによるカンバ更新

ポイント

- ・トドマツ人工林皆伐跡の地がきでは、天然林での地がきに比べカンバ稚樹数は少なくなる。
- ・母樹の不足によるカンバ種子散布密度の少なさや大型草本などの繁茂が要因として考えられることから、状況により播種や刈出しを行うなど順応的管理が重要である。

トドマツ人工林皆伐跡の地がき更新調査

道内5か所（幾寅・恵庭・歌登・下川・留萌）のトドマツ人工林帯状皆伐跡の地がき実行地に調査地を設定しました。各調査地では地がきを行った場所と無処理の場所のそれぞれに方形区を設置し、地がき後2年目のカンバ稚樹（樹高5cm以上）の密度、植生を調べたほか、周囲のカンバ母樹の配置も調べました。その結果、カンバ稚樹密度は、多くの方形区で5本/m²（5万本/ha）を下回っていました（図1）。プロット全体の平均では、幾寅調査地で1.2本/m²、恵庭調査地で1.8本/m²、歌登調査地で2.3本/m²、下川調査地で1.7本/m²、留萌調査地で2.4本/m²でした。既往の天然林での地がきの調査例では、地がき後のカンバ稚樹密度は10～100本/m²との報告があり、これらと比較すると今回の稚樹密度は低いものでした。



写真1 幾寅調査地（2015年地がき）

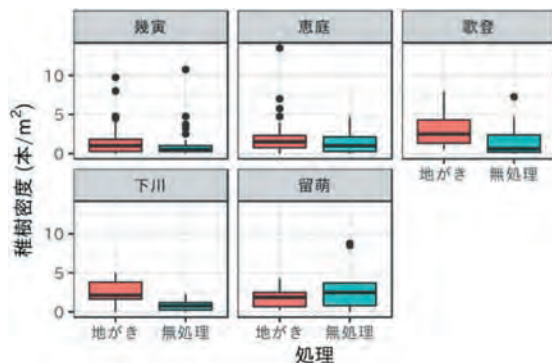


図1 各調査地における地がき処理の有無ごとのカンバ類稚樹密度箱の図
箱の上は全体の75%、下は25%の値、箱の中央の線は中央値を示します。線は外れ値を除いた最大値と最小値を、点は外れ値を示します。

地がきの有効性とカンバの更新を阻害する要因

カンバの実生発生数に与える要因の関連解析の結果、地がきは更新発生サイトを提供する直接効果と、競合する下層植生を抑える間接効果によりカンバ実生の発生に効果が認められました（図3）。一方で、カンバ類稚樹密度が天然林の例よりも低かった要因としては、散布種子密度が低かったことが考えられます。図2は、幾寅調査地と恵庭調査地に設置した種子トラップで測定したカンバ類の散布種子密度です。それぞれ、豊作年では200～300粒/m²でした。既往の天然林における成功例では、大豊作の年のカンバ種子散布密度は数千～数万粒/m²のオーダーであり、これと比較すると今回の結果は低いものでした。これは、周囲にあるカンバの母樹が少ないことや、大豊作の年にあたらなかったためと考えられます。

また、一部では地がき翌年から大型草本やイチゴ類が密生するところがありました（写真2）。大型草本など植生の被度が大きく、高さが高いところでは、カンバ稚樹密度が低くなる傾向が認められ、更新初期における大型草本などの繁茂はカンバの更新を阻害する可能性があります（図3）。

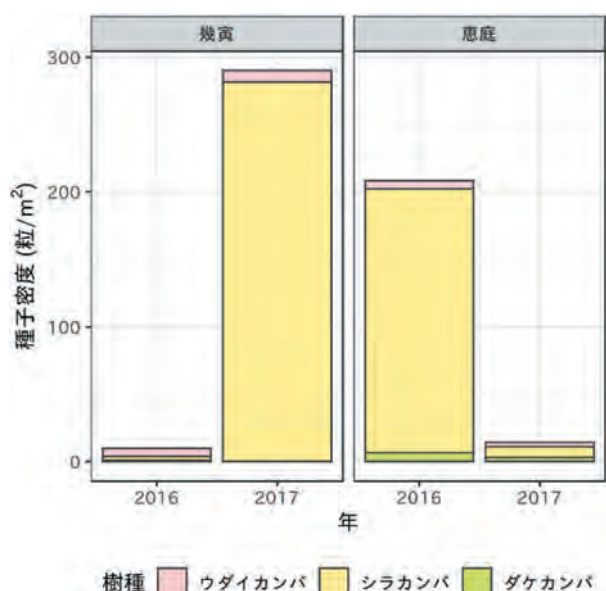


写真2 大型草本の繁茂（下川調査地）

図2 幾寅調査地と恵庭調査地におけるカンバの散布種子密度

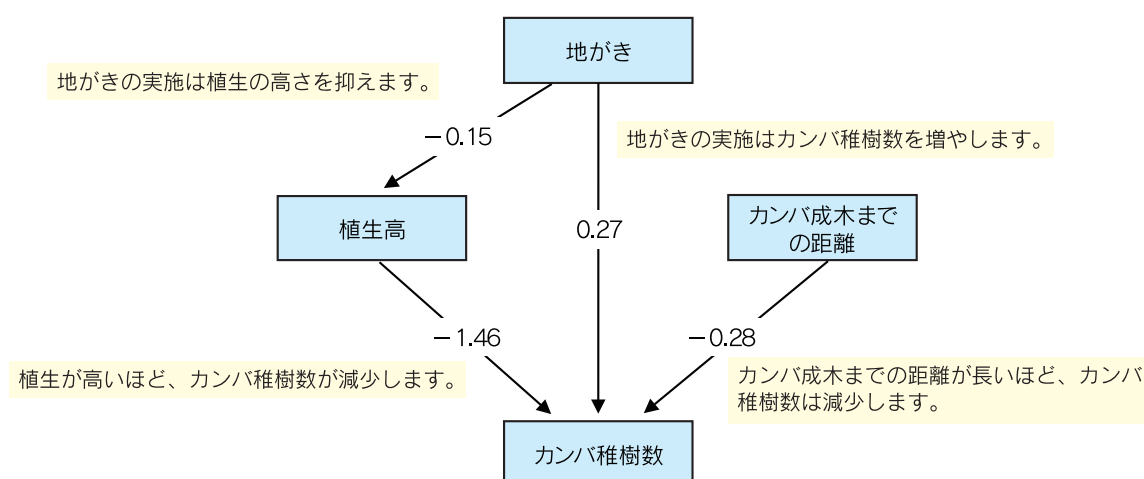


図3 カンバ稚樹数と諸因子との関係解析結果

数字の絶対値は影響の大きさを表します。マイナスは負の影響を表します。

現地のモニタリングによる順応的管理

今回の調査結果から、トドマツ人工林の帯状皆伐跡における地がき更新は、林内および周囲のカンバ母樹が少ないことによる種子密度不足や更新初期における大型草本などの繁茂が更新阻害要因となることが示唆されました。また、林床にササが繁茂する場所では、年数を経るに従い地がき地にササが侵入、回復し、カンバ更新木を被圧すること考えられます。

このように地がきによるカンバ天然更新には大きな不確実性がありますので、母樹が少なく散布種子密度が大きく不足するようであれば播種を行う、大型草本などがすぐに発達するようであればカンバの刈出しを実施する、といった状況に応じた対策をとることが重要です。すなわち、不確実性があることを認め、想定される事態への対策を事前に決めておいて、現地の状況のモニタリングをとる必要のある対策をとって目標を達成するという「順応的管理」が重要です。

カンバ天然更新のための地がき作業法

ポイント

- ・これまでの地がき作業の要点に加え、カンバを確実に更新させるための作業法として、地がき面に山状の盛り土（マウンド）の形成が有効である。
- ・大型機械による地がき作業では、地がき帯5mの筋状地がきの効率が最も良かった。

カンバ天然更新のための地がき作業の要点

北海道内の地がきは1960年代から始まり、これまでは主に高標高寒冷多雪地の天然林において、過去の伐採や風倒などによりササ地化している疎林や無立木地を森林化するために行われました。今回の課題であるトドマツ人工林皆伐跡の地がきとは状況が異なりますが、基本的な方法はほぼ同じと考えられますので、これまで示されてきた地がき作業の要点を以下に示します。

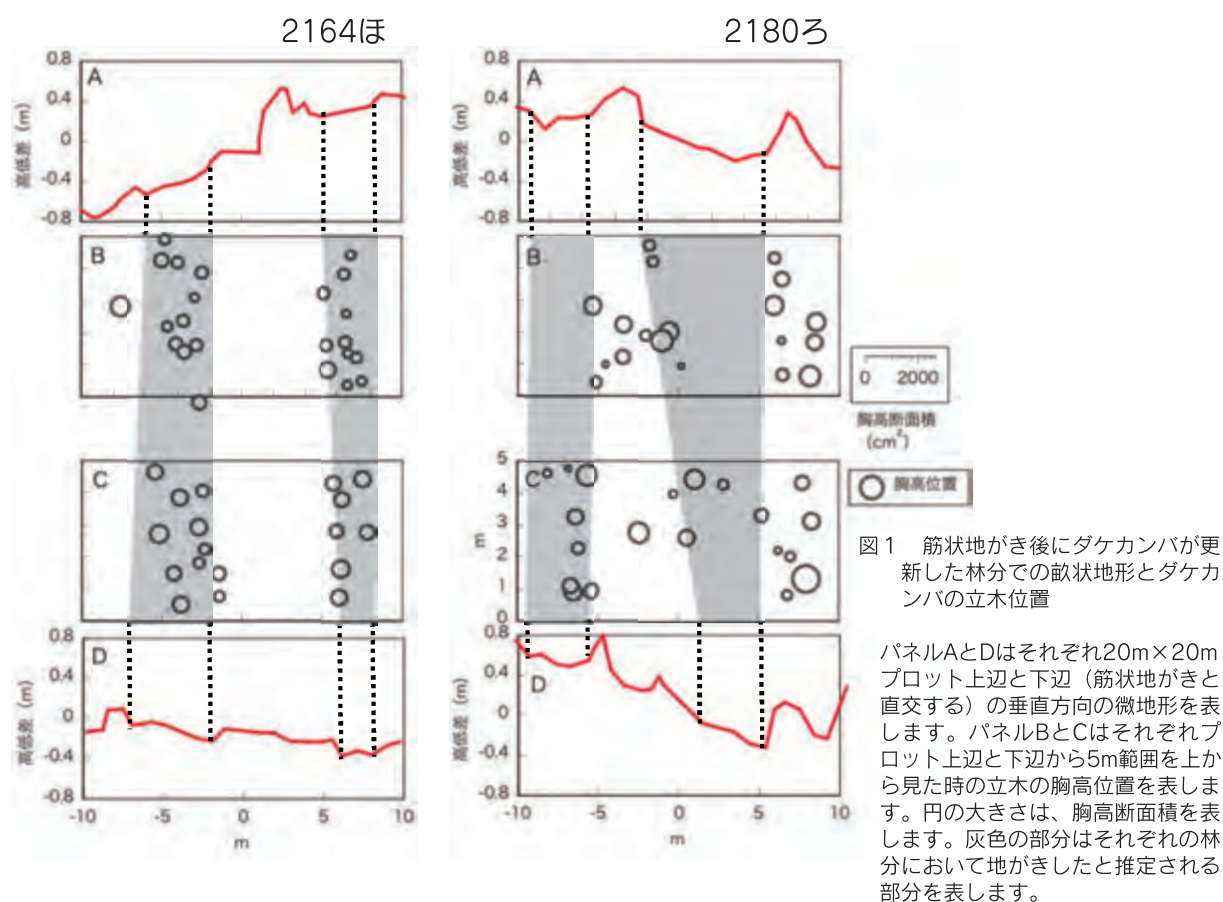
大型機械による地がき作業の要点

1. 適地
 - ・ 傾斜 20° 以下。
 - ・ 方位 南東～南～南西斜面が望ましい。北面系は緩斜面とする。
 - ・ 土壌 Bc、Bd型が好適であり、湿性土壌は避ける。
2. カンバ母樹
 - ・ できるだけ形質が良く、樹冠発達の良い個体を母樹に選ぶ。
 - ・ 林内母樹保残方式
小中径の母樹の場合はhaあたり50～70本、中大径の母樹（胸高直径30cm程度以上）ではhaあたり15～20本程度散在残存させる。
 - ・ 側方母樹保残帯方式
更新面の大きさは主風と直径方向では樹高の2倍程度（最大で70m程度）までの幅とする。広くする場合は林内母樹保残方式を併用する。また、母樹帯の幅は30m以上とする。
3. 地がき方法
 - ・ 表土のはぎ取りを防ぐため、レーキを使用する。
 - ・ 種子落下時期の前、7月～8月中旬に実施する。
 - ・ ササの早期の回復とかぶりを防ぐため、筋状地がきの幅は周辺ササ桿高の2倍以上とする（残し幅は5m程度まで）。ただし、夏季に気温が高い地域の南斜面は、広すぎると中央部の乾燥を招くので注意する（7m程度まで）。
 - ・ 地がき筋の方向は種子や土壌の流出を防ぐため、傾斜地では斜面方向は避ける。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工夫する。
4. その他
 - ・ 標高の低い場所では大型草本が繁茂しやすい。
 - ・ 地がき面に凹凸のある方が更新成績が良い。

出典：天然林施業Q&A(1988)、森林施業の手引(1988) などによる。

マウンドの形成が更新の成功につながる

奥定山溪国有林で帯状の地がきによりダケカンバが更新した林分で、微地形と立木位置を調べました（図1）。一般には地がきをした帯に列状に更新している場合（2164林班ほ小班）が多いですが、残し帯の方に更新している場合（2180林班ろ小班）が確認できました。2164ほでは筋状に凹んでいる地がき帯にほとんど更新しているのに対し、2180ろでは残し帯のマウンドもしくはマウンドの肩の部分により多く更新していました。2164ほよりも2180ろの方がマウンドが高いことから2180ろでは深い地がきが行われ、その土が残し帯に高く積まれたとみられます。また、2180ろで地がき帯に更新しなかった理由としては、平坦地で深く地がきをしたため堅密な土が露出して融雪期に滞水し、実生の発芽成長を阻害したという可能性が考えられます。そのため、特に平坦地では土のマウンドを人為的に形成する作業が更新の成功につながると考えられます。



地がきの幅は5mの場合が最も作業効率が高い

恵庭調査地において、重機（グラップルローダ）を使用した地がき作業の際、地がき幅によって作業効率がどのように変化するかを調べました。その結果、重機による地がき処理の効率は処理幅によって異なり、処理幅が5mのときに最も作業効率が高いことがわかりました（図2）。これは地がき幅が広がると、残渣を移動させるのに時間がかかるためです。また、狭くなると、慎重なアタッチメント移動が必要となり、時間がかかります。

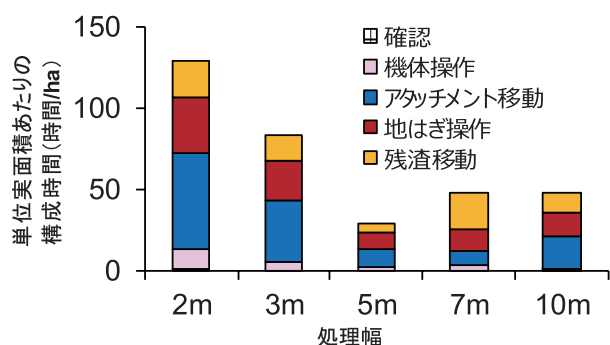


図2 異なる処理幅のグラップルローダ作業における実作業面1haあたりに占める各作業要素の構成時間（分）

地がきによる隣接トドマツ人工林立木の根系損傷

ポイント

- ・地がきは隣接するトドマツ人工林立木の根系を損傷し、腐朽が発生する懸念がある。
- ・地がき地から隣接立木幹までの距離が近いほど、立木の胸高直径が大きいほど、また地がきが深いほど、根系の損傷が発生しやすいので、これらを考慮して地がきを行う必要がある。

トドマツ立木地表部根系が損傷しやすい条件

トドマツ人工林を帯状に皆伐して地がきを行った場合、地がき地に隣接するトドマツ人工林立木（以下、「トドマツ立木」という）の地表部根系を損傷して、腐朽が発生させる懸念があります（写真1）。そこで、トドマツ立木の地がきによる根系損傷がどのような条件で発生しているかを明らかにするため、実際に地がきを行った現場で、トドマツ立木幹から地がき地境界までの距離、立木の胸高直径（＝樹木のサイズ）、地がきの深さと根系の損傷発生の有無、傷のサイズを調査しました。その結果、隣接立木幹との距離が近いほど、立木の胸高直径が大きいほど、また地がきが深いほど、地表部根系の傷が発生しやすいことがわかりました（図1）。



写真1 トドマツ立木地表部根系の損傷

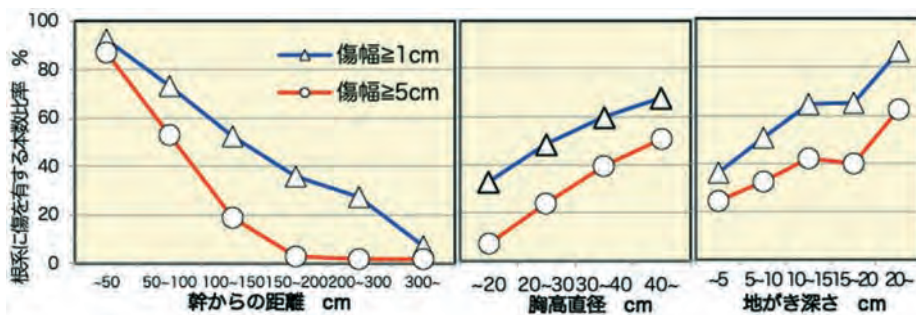


図1 トドマツ立木幹から地がき・地植え箇所までの距離（左）、トドマツ立木の胸高直径（中）、地がき・地植えの深さ（右）と地表部根系損傷発生の本数比率の関係

距離、胸高直径、地がき深さから地表部根系損傷の確率を予測する

距離、胸高直径、地がき深さを組み合わせて損傷確率を予測するモデルを作成しました。これを用いて、地がきの深さ10cmと20cm別に、胸高直径と幹から地がき端までの距離を変えた場合地表部根系に幅5cm以上の損傷が発生すると推定される確率を算定すると、表1のようになりました。この表からもわかるように、地がきの深さと立木の胸高直径に応じてトドマツ立木からの距離を離し地がきを行えば、損傷被害を抑えることができると考えられます。

表1 地がき深さ10cmと20cmの場合に、胸高直径と幹までの距離に対応して、地表部根系に幅5cm以上の損傷が発生すると推定された確率（％）例えば深さ10cm、DBH30cm、距離100cmで地がきした時の損傷確率は16.8％（赤字）
 50％＜ 5～50％ 1～5％ ＜0.1は0.1％未満。

地がき・地ごしらえ深さ cm	DBH cm	トドマツ幹から地がき・地ごしらえ端までの距離 cm					
		50	100	150	200	250	300
10	10	15.8	2.3	0.3	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	20	35.3	6.5	0.9	0.1	< 0.1	< 0.1
	30	61.4	16.8	2.5	0.3	< 0.1	< 0.1
	40	82.3	37.1	7.0	0.9	0.1	< 0.1
	50	93.1	63.3	18.0	2.7	0.4	< 0.1
20	10	26.8	4.5	0.6	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	20	51.7	12.0	1.7	0.2	< 0.1	< 0.1
	30	75.7	28.4	4.8	0.6	< 0.1	< 0.1
	40	90.1	53.6	12.8	1.8	0.2	< 0.1
	50	96.4	77.1	30.0	5.2	0.7	< 0.1

地がきによるカンバ林が昆虫多様性に与える影響

ポイント

- ・地がきにより成林したカンバ林や針広混交林では昆虫多様性が高い傾向があった。
- ・トドマツ人工林に地がきによってカンバ林を混交させることは、昆虫多様性を高める可能性がある。

地がきによって成林した3つのタイプの林分における昆虫の多様性

奥定山溪国有林の地がきによって成林した3つのタイプの林分（針広混交林、カンバ林、疎林）とトドマツ林において、誘引剤を用いた衝突板トラップ（写真1）による昆虫の捕獲調査を行いました。捕獲した昆虫のうち、枯死木を食べて成長するカミキリムシ類と森林タイプごとに異なる群集を形成するハナアブ類の種同定を行い、多様性を表す指標として多様度指数（ H' ）を比較しました。その結果、カミキリムシ類では混交林で多様度が最も高く、カンバ林、トドマツ林、疎林が続きました（図1）。一方、ハナアブ類ではカンバ林で多様度が最も高く、疎林、混交林、トドマツ林が続きました（図1）、森林性昆虫の2つのグループでは傾向が異なりました。また、序列化という方法で種構成を比較すると、カミキリムシ類ではトドマツ林と疎林が異なり、その中間にカンバ林と混交林が位置しました（図2）。一方、ハナアブ類ではトドマツ林・疎林とカンバ林・混交林に分かれる傾向がみられました（図3）。



写真1 衝突板トラップ

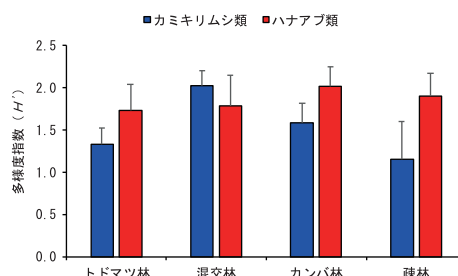


図1 カミキリムシ類とハナアブ類の多様度指数（ H' ）
（棒は平均値、縦線は標準偏差を表します）

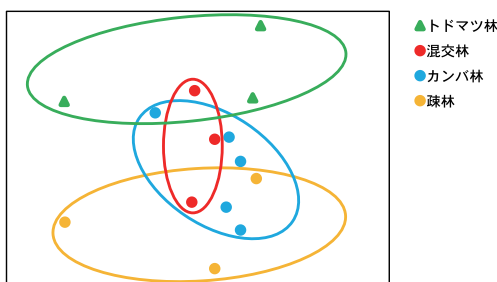


図2 カミキリムシ類の種構成による調査地点のグループ分け。調査地点の距離が近いほど種構成が似ています。

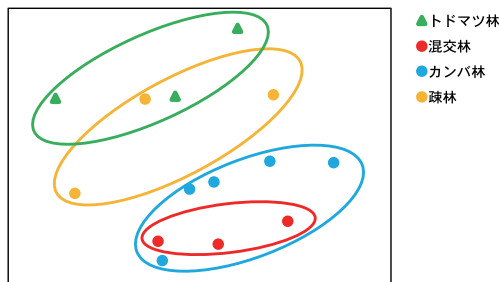


図3 ハナアブ類の種構成による調査地点のグループ分け。調査地点の距離が近いほど種構成が似ています。

トドマツ人工林にカンバ林を混交させる効果

今回の結果から、森林性昆虫の2つのグループでは多様性や種構成の変化傾向は異なっていますが、両者を考慮すると、トドマツ人工林の帯状皆伐跡に地がきによってカンバ林を混交させることは、種構成を変化させるものの、昆虫多様性を高める可能性があることがわかりました。

上木伐採によるトドマツ前生稚樹の枯死原因

ポイント

- ・上木林冠下で天然更新したトドマツ前生稚樹は、上木伐採による環境変化によって葉が褐変し、枯死することがある。
- ・枯死の原因は冬季乾燥害ではなく、翌春の強い光による葉の障害である。

トドマツ人工林内の前生稚樹を活用する施業試験

トドマツ人工林内に天然更新した前生稚樹を活用し更新を図る施業法を開発するため、北海道森林管理局が根釧西部森林管理署標茶国有林に設定した試験地で調査を行いました。ここではトドマツ前生稚樹の豊富なトドマツ人工林（写真1左）に異なる伐採率（0,33,50,66,100%）を適用し、稚樹の生残を観察しています。試験地は2014年に設定され、2015年10月、2016年1月に伐採が行われました。

2016年5月に現地を調査したところ、伐採率が66%以下の試験地では稚樹の様子に目立った変化はなく、そのほとんどが生存していたのに対して、皆伐区（伐採率100%）では生育していたほとんどの前生稚樹で葉が褐変し、枯死した個体も多くみられました（写真1中）。当年秋の調査によると、二つの皆伐区の稚樹（樹高30cm以上）の生存率は2割でした（伐倒集材による損壊枯死を含む）。



写真1 皆伐前と（左）と皆伐後に褐変枯死したトドマツ前生稚樹（中）、皆伐2年後（2017年7月）（右）

皆伐後の春に枯死した稚樹の水分状態

トドマツ前生稚樹の枯死原因として冬季乾燥害が疑われていました。晩秋～冬の皆伐後、春先に枯死したトドマツ稚樹（写真2A）、皆伐後も生存した稚樹（写真2B）、上木を伐採しなかった稚樹（写真2C）の間で、幹の含水率や植物の乾燥ストレス進行の程度を表す木部圧ポテンシャル（負の値が大きいほど強い乾燥ストレスを受けている）を比較しました。幹の含水率は、生存した稚樹と褐変枯死した稚樹との間で統計的な有意差はなく、枯死の発生と幹含水率は無関係でした（図1左）。木部圧ポテンシャルにおいても、生存個体とほぼ同じ値でありながら枯死する個体が認められました（図1右）。

樹体の水分状態は枯死後の降雨などによって変化する可能性があるため、染色液を使って幹の通水機能を調べました。乾燥によって通水機能が損なわれて枯れた場合、降雨などで幹が濡れても、通水機能が回復することはないといわれています。その結果、皆伐後に枯死した稚樹でも幹の通水部位が染色され、通水機能が生存個体と同程度維持されていたことがわかりました。

これらのことから、冬季乾燥害以外に枯死原因があることがわかりました。

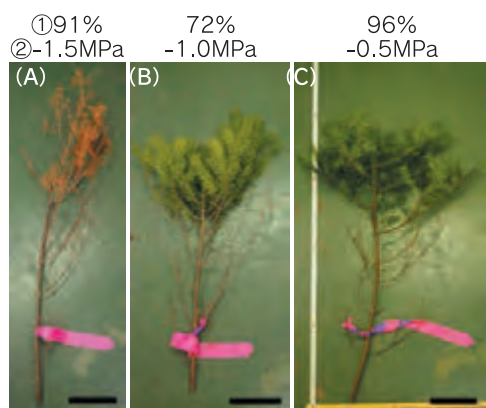


写真2 測定した稚樹とその水分状態
(①幹含水率、②木部圧ポテンシャル)
A: 皆伐後枯死、B: 皆伐後生存、C: 上木未伐採

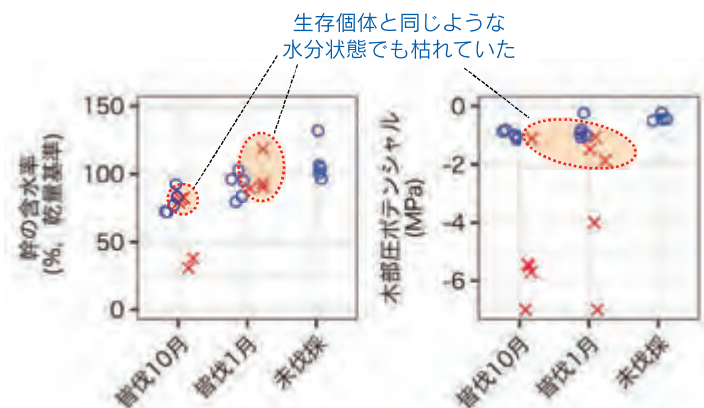


図1 皆伐後の5月におけるトドマツ稚樹の水分状態
(○ 生存 × 枯死)



写真3 トドマツ稚樹の染色液を使った通水機能試験

紫色で染まっている箇所が、酸性フクシンによって染色された通水部位。通水機能が生存個体と同程度でも枯死する個体がありました。

上木伐採後の光阻害と成長低下

トドマツ前生稚樹の枯死原因を明らかにするため、晩秋～冬季の上木伐採の翌春に異なる伐採率下の日射量と稚樹の伐採前展開葉の光合成活性を調べました。その結果、明るい環境下ほど光合成活性が低下し、光阻害が増大していました(図2)。光阻害とは、「必要以上の光が当たることによって生じる光合成活性の低下」と定義されます。このことから、トドマツ前生稚樹の葉の褐変、枯死の原因は光阻害であることがわかりました。また、光阻害を受けた個体は、生存していても伐採後伸長枝の成長を低下させることがわかりました(図3)。さらに、光阻害によって生じた伐採前展開葉の一部落葉による窒素栄養の減少により、その翌年の伸長枝の成長が抑制されることも明らかになっています。つまり、光阻害を受けると枯死に至らない場合でも、成長への影響が2成長期間まで及ぶことになります。なお、伐採後2年目には光阻害はみられず、1年目に生き残ったトドマツ稚樹のほとんどは生存していました(写真1右)。

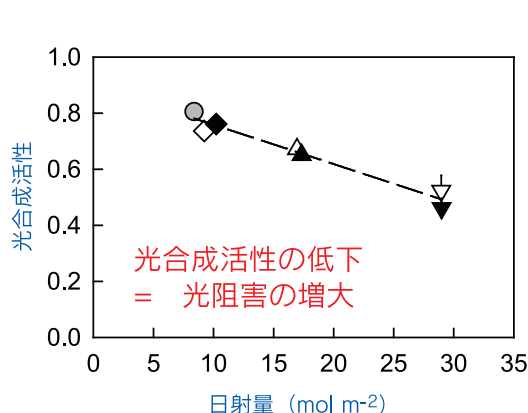


図2 日射量の増加による光阻害の増大

光合成活性はクロロフィル蛍光反応によって測定しました。

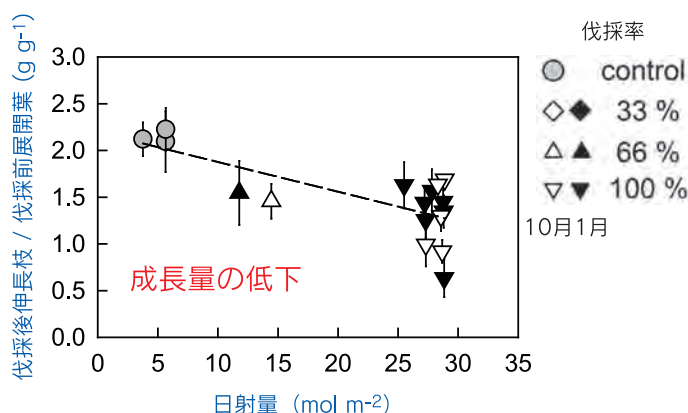


図3 日射量の増加による成長量の低下

成長量は伐採後伸長枝(針葉+枝)の重さを伐採前展開葉の重さで割った値で表しました。伐採前伸長枝の長さから落葉する前の伐採前展開葉の重さを推定しました。

トドマツ前生稚樹を活用して更新を図る施業方法

ポイント

- ・上木林冠下にあるトドマツ前生稚樹によって更新を図るためには、上木を一部保残し光阻害を回避することが有効である。
- ・施業地に前生稚樹を多数かつ均等に残すためには、伐倒搬出方法の工夫が必要である。

皆伐地におけるトドマツ前生稚樹の生存率

皆伐地において無人航空機（ドローン）で撮影した空中写真を用いて、皆伐地内18箇所についてトドマツ前生稚樹の生存率を測定しました（写真1）。また、現地で同地点の全天写真を撮影し、太陽軌跡の解析により各地点の光環境を推定しました（写真2）。これらのデータから生存率を予測する一般化線形モデルを構築した結果、最適モデルには生存率にプラスの効果がある日陰時間とマイナスの効果がある最大連続放射量に変数として選ばれました（図1）。このことは、保残木や周囲の立木により太陽光が遮られる場所で生存率が高くなることを示しています。



写真1 空中写真を用いたトドマツ稚樹の生存判定
水色：生存個体、ピンク：枯死個体
空中写真は2016年7月に撮影したもの

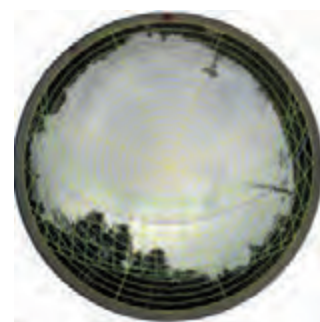


写真2 全天写真による太陽軌跡の解析
ピンク色の線が太陽の軌跡（4月15日で計算）

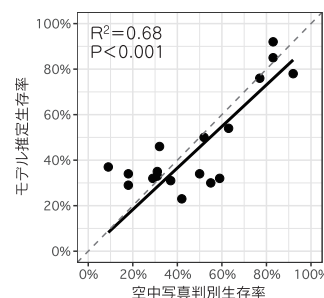


図1 トドマツ稚樹の生存率の推定

トドマツ前生稚樹の生存につながる保残木施業

トドマツ人工林内に天然更新している前生稚樹の生存率を高めるためには、光阻害を防ぐことが重要であり、前項のモデルにより連続して直射日光が当たらないようにすること、日影になる時間を長くすることなどが有効であることがわかりました。このことから、皆伐面に保残木を配置することが有効な施業方法として考えられます。そこで、このモデルを利用して保残木の本数と配置を変化させることにより、前生稚樹の残存率を予測しました（図2）。この結果から、前生稚樹の生存率を高めるためには保残木をできるだけ多く配置することが有効であり、保残木を少量でも配置することが前生稚樹の生存につながります。

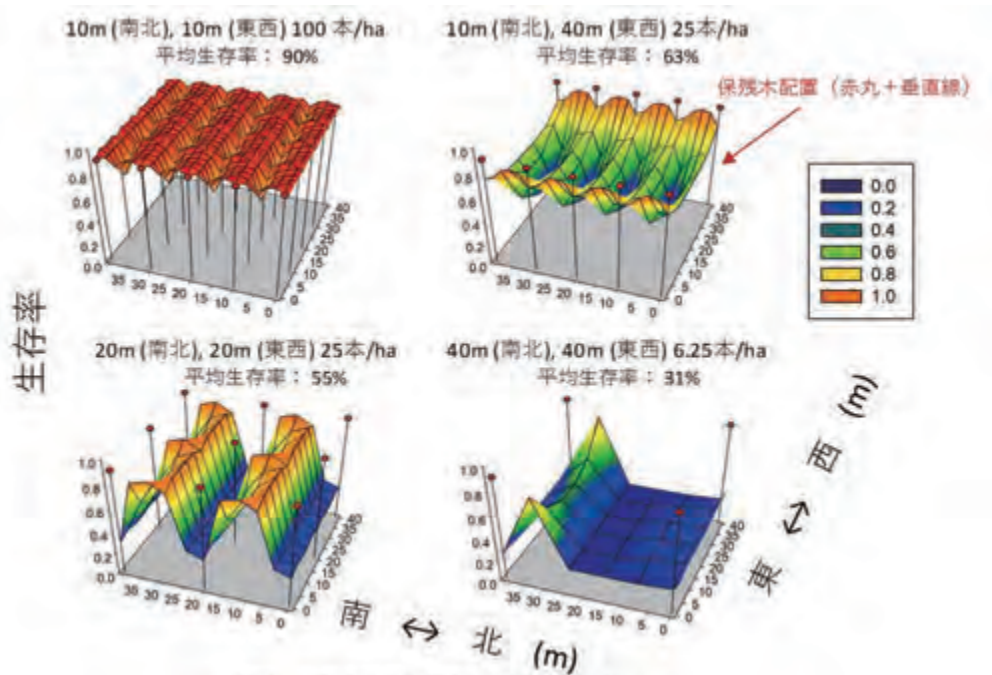


図2 保残木の配置と前生稚樹の生存率

保残木は樹高20m、樹冠長5m、樹冠直径4m、樹幹直径0.3mとしました。
保残木がない場合の平均生存率は22%です。

前生稚樹の消失をできるだけ防ぐ伐採作業法

稚樹を消失させる可能性の高い作業は、機械による踏みつけ、木寄せ作業時の伐倒木樹幹引きずり作業（特に方向を変えるとき）で、造材による枝条の蓄積も問題になります。このため、①機械走行路を限定すること、②木寄せ時に伐倒木を地面に置いた状態で方向を変える作業をできるだけ行わないようにすること、③一箇所に大量の枝条を蓄積しないことなどが重要です。導入が進んでいるハーベスタの伐倒作業には林内走行が必要ですが、走行路を傾斜方向に一定間隔で設定して限定し、安全な範囲で横列の作業も行うようにすることで、踏みつけ面積は全体の30%以下に抑えることができます。

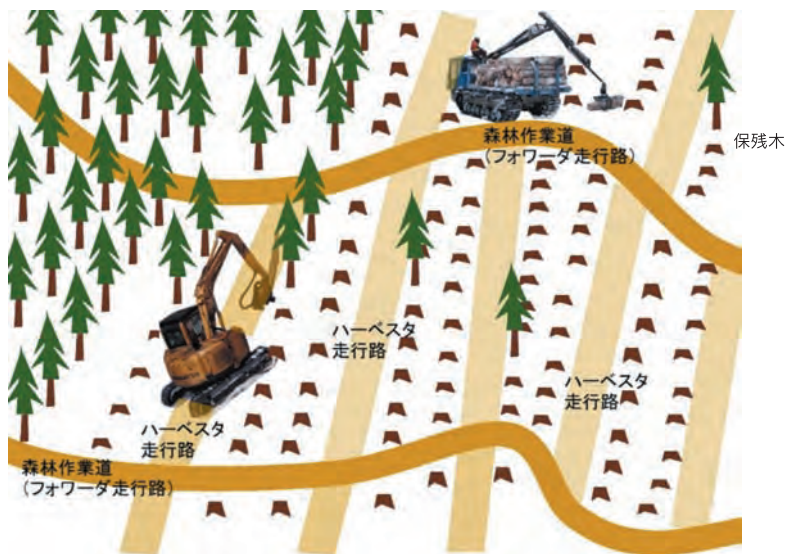


図3 伐採時の林内作業道の配置と作業システム

一般に使われている油圧ショベルベースハーベスタの場合、走行路の間隔はアームの作業範囲から8m程度となります。方向は基本的に傾斜方向です。森林作業道は等高線方向に開設され、その間隔の1/2が最大木寄せ距離となります。稚樹の分布をできるだけ均等に確保するためには、作業を稚樹密度の低いところで行なわないようにすることや、路網を稚樹密度の低いところに配置しない計画が必要です。

トドマツ人工林の経営評価

ポイント

- ・道内のトドマツ人工林の地位分布を予測したところ、地域により大きな差が認められた。
- ・地位ごとの素材収入や育林費、主伐費などをもとにトドマツ人工林の経営収支を予測した結果、十勝地方が高く、宗谷や根室地方、日本海側が低い傾向がみられた。

トドマツ人工林の地位分布予測

北海道内トドマツ人工林について成長の良否に与える環境条件を明らかにするため、国有林と民有林のトドマツ人工林における1,112地点の林分データと、各地点の気温や降水量、日射量などの気候データや地質データ、地形データなど環境要因に関するデータを用いて、回帰樹モデルを構築しました。成長の良否の指標には、地位指数（林齢40年生時の上層木平均樹高）を用いました。その結果、トドマツ人工林の成長において、気候や地質的には温暖で夏期降水量が多い場所、地形的には北東斜面が特に好適であることが明らかになりました。一方で、低温かつ乾燥した地域や、地形的に水が集まりやすく過湿になりやすい場所は不適なことが示されました。

また、ランダムフォレストという高精度な分布予測が可能な統計モデルを用いて、トドマツ人工林の地位分布を予測しました（ $R^2=0.90$ ）（図1）。その結果、十勝地方や、渡島西部や檜山南部の低地、日高西部や空知の低地などで地位が高い一方、宗谷、根室、上川北部や留萌の低地などは地位が低い傾向がみられました。

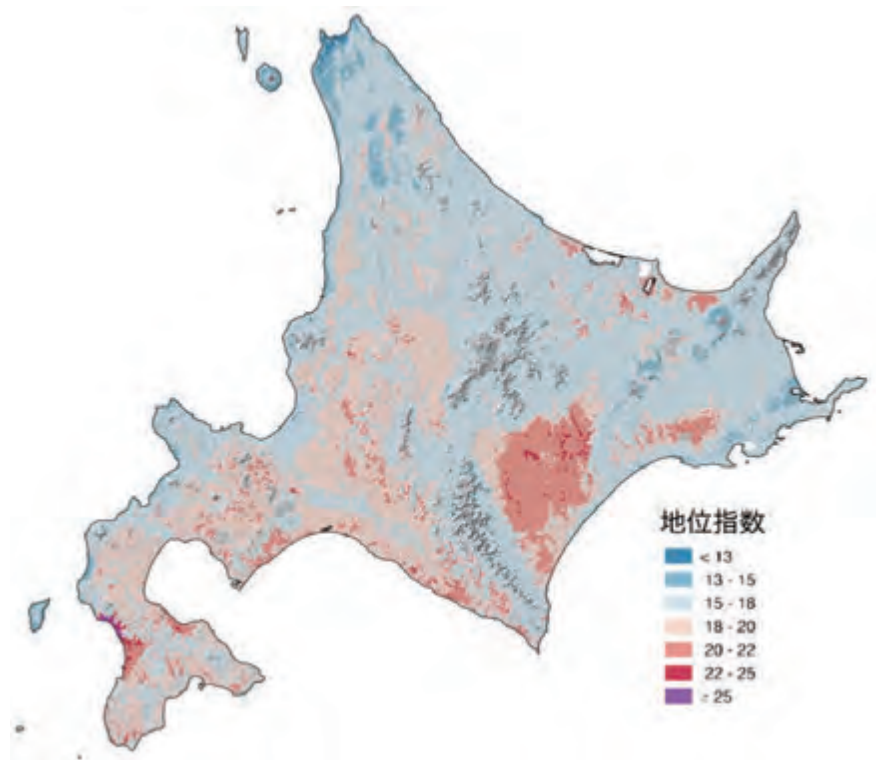


図1 トドマツ人工林の地位予測マップ

トドマツ人工林の地位指数の予測結果を3次メッシュ（約1km）で示しました。赤系は地位が高い場所を、青系は地位が低い場所を示しています。トドマツ人工林のデータが無かった高標高域は予測の対象から除外しています（グレーで示した地域）。

トドマツ人工林の経営収支予測

予測したトドマツ人工林の地位ごとの素材収入を算出するとともに、育林費や主伐費を立地条件等を考慮して算出することで、経営収支を予測しマップ化しました（伐期40年）。素材収入は、北海道立総合研究機構林業試験場のトドマツ人工林収穫予測ソフト（ver.1.30）を使って収穫予測をした結果から、地位と植栽本数を説明変数とする総収穫木材積の予測モデルを構築し、求められた総収穫木材積に振興局別のトドマツ単価（木材市況調査月報の平成27年度月次調査の平均値と、木材需給報告書の「製材用+合板用」「木材チップ用」の比率から計算）を乗算することで求めました。主伐費は、北海道水産林務部の低コスト施業の手引き（2014）を参照し、地位と植栽密度から主伐費を予測するモデルを構築して求めました。この際、傾斜 20° 以上の場所については、30%の掛かり増しとしました。育林費については、林野庁業務資料等を参照し、地拵、植え付け、下刈、苗木、苗木運搬、間伐にかかる費用を、傾斜、ササ丈、下刈年数、地位や植栽本数に応じて求めました。主伐費と育林費を合わせた支出には、間接費として25%を上乗せし、素材収入から引くことで、収支を算出しました。

マップ化された予測結果（図2）をみると、トドマツ人工林の経営収支は十勝地域で高い傾向がみられました。これは、十勝地方ではトドマツの地位や単価が高く、下刈年数が短いなど育林費が抑えられるためです。一方、宗谷や根室地方、日本海側の地域では経営収支が低い傾向がみられました。これは、地位や単価が低く、下刈年数が長いことなどが影響しています。このように、北海道内における地域ごとのトドマツ人工林の経営を大まかながら評価することができました。この結果は、地域的な施業法の適性を判定し、現存するトドマツ人工林の主伐後にどのような施業法が適切かを選択する（例えば、再びトドマツ人工林にする、地がきによってカンバ林にするなど）ための情報として利用することが可能です。

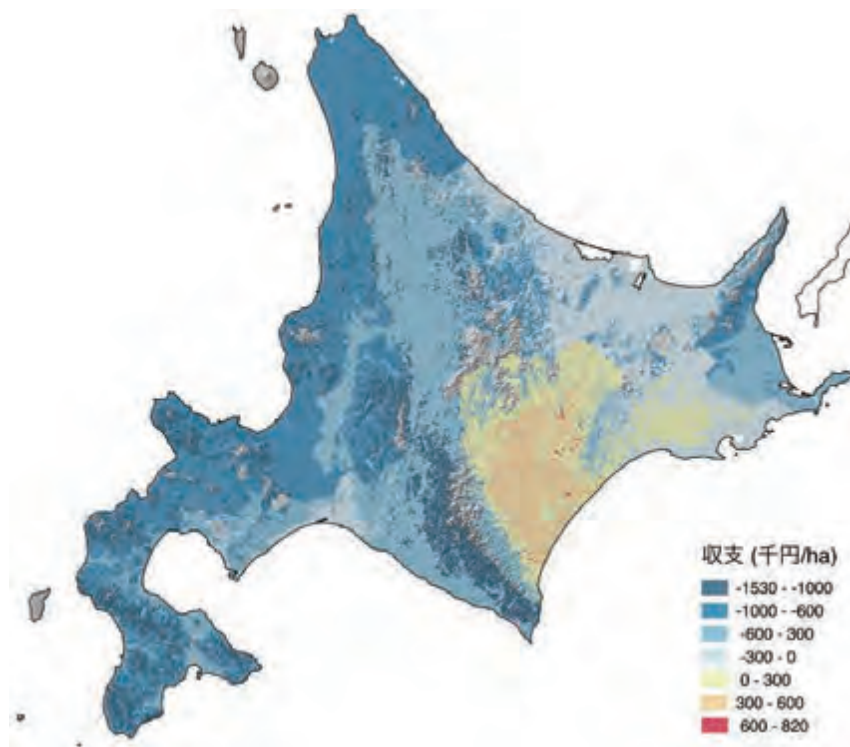


図2 トドマツ人工林の経営収支マップ

トドマツ人工林の経営収支の予測結果を3次メッシュ（約1km）で示したマップです（伐期40年）。赤系で示した場所は利益が高いことを、青系で示した場所は利益が低く損失が出る地域であることを示します。トドマツ人工林のデータが無かった高標高域は予測の対象から除外しました（グレーで示した地域）。

トドマツ人工林主伐後の施業法選択

ポイント

- ・トドマツ人工林主伐後、地がきでダケカンバ林を造成した場合、地位が最も低く伐期が40年の場合でも、ほとんどの地域でダケカンバ林の方が経営収支が有利になる可能性がある。
- ・トドマツの天然更新が良好な地域で前生稚樹が活用できると、経営収支が有利となる。

地がきによるダケカンバ林との比較

トドマツ人工林主伐後の施業方法の選択肢の一つとして、皆伐跡の地がきによるカンバ林への誘導が考えられます。そこで、これまでの地がきによって成林している代表種であるダケカンバについて、地位が最も低い場合と最も高い場合の経営収支を算出し、再びトドマツを植栽行った場合（トドマツ人工林）と比較しました（ダケカンバ林は除伐、間伐なし）。

ダケカンバ林の経営収支の計算は、地位と伐期齢に応じた平均的材積と径級分布の暫定調査データ及び径級別単価から素材収入を算出しました。支出として、主伐費と育林費（地がき費用）及び間接費25%を考慮し、経営収支を求めました。この結果を用いて、図1に前頁のトドマツ人工林と地がきダケカンバ林の林経営収支を比較するマップを作成しました。

その結果、ダケカンバの地位が最も低い場所で40年で伐採した場合は、十勝地域など一部地域を除きダケカンバ林が経営上有利であり、地位が最も高い場所で60年生まで待つと、全ての地域でトドマツ人工林よりダケカンバ林の方が有利になる可能性が示唆されました。

なお、ダケカンバの場所ごとの地位推定は、まだ十分なデータ数がないため今後の課題です。

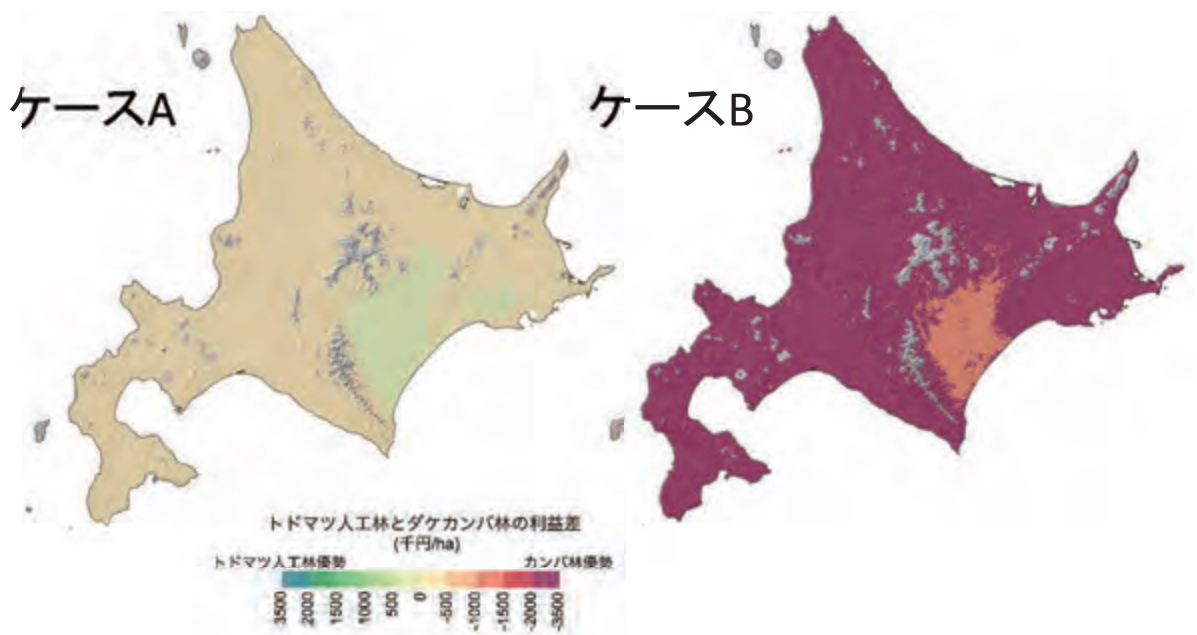


図1 トドマツ人工林とダケカンバ林の利益差マップ

ケースA: ダケカンバ低地位で40年生で収穫する場合 ケースB: ダケカンバ高地位で60年生で収穫する場合
緑系の色の場所がトドマツ人工林が優勢な場所を、赤系の色の場所がダケカンバ林が優勢な場所を示しています。

トドマツの天然更新施業との比較

トドマツ人工林内の林床に天然更新した前生稚樹を活かした天然更新施業の可能性を探るため、トドマツ天然更新施業の経営収支を予測し、再びトドマツを植栽した場合（トドマツ人工林）と比較しました。

トドマツ人工林内の天然更新調査の結果を解析したところ、トドマツの稚樹（樹高30cm以上）は、ササ稈高が1m以下の場所（主にミヤコザサ帯）において最も多く生育し、ササ稈高が1～2mの場所（主にクマイザサ帯）で最も少ないことがわかりました。そこで、ミヤコザサ帯（豊岡1983）をトドマツ天然更新施業可能地（ポテンシャルが高い地域）としました。

トドマツ天然更新施業林の経営収支は、トドマツ人工林収穫ソフトver.1.30（北海道立総合研究機構林業試験場）を用いて、最も高密な条件（4250本/ha）のもと、地位ごとに材積・径級分布を算出し、径級別の単価に乘算することで、素材収入を予測しました。なお、支出は主伐費及びその間接費のみとし、除伐、間伐はなしとしています。この結果をもとに、図2にトドマツ人工林とトドマツ天然更新施業林の経営収支を比較するマップを作成しました。

その結果、40年生ではほとんどの地域でトドマツ天然更新施業が有利となり、伐期を60年に延長するとその利益差が大きくなることがわかりました。これはトドマツ天然更新施業林では初期造林費用（植栽、下刈など）が省略されるためであり、さらに60年生の天然更新林分では、製材用原木の利用径級（末口径20cm）をこえる径級の大きいものが増えるためと考えられます。

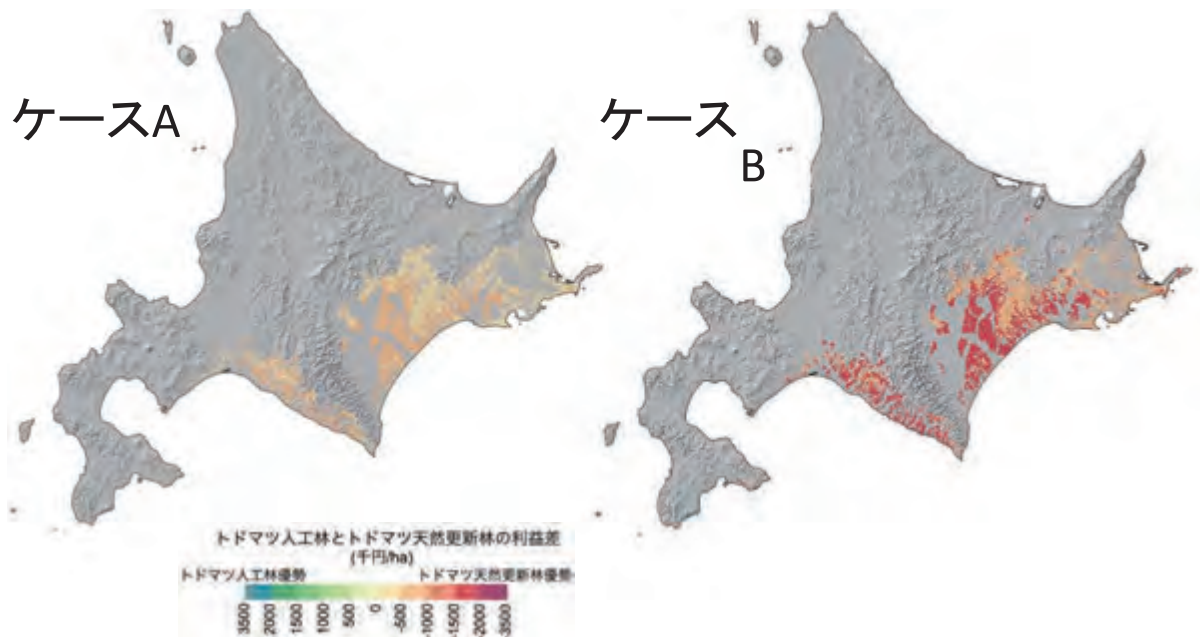


図2 トドマツ人工林とトドマツ天然更新施業の利益差マップ

ケースA: 40年生、ケースB: 60年生の場合

緑系の色の場所がトドマツ人工林が優勢な場所を、赤系の色の場所がトドマツ天然更新施業が優勢な場所を示しています。対象地は、トドマツの天然更新が望めるミヤコザサ帯としました（豊岡 1983による）。



Betula ermanii

Abies sachalinensis

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

お問い合わせ先：地域連携推進室

電話：011-590-5503

URL：<http://www.ffpri.affrc.go.jp/hkd/>

※本誌掲載内容の無断転載を禁じます。

2019年3月31日発行
