HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	天然更新によるトドマツ人工林複層林化への試み : 鋸谷式間伐と樹冠下掻起しの実践
Author(s)	坂井, 励; 吉田, 俊也; 小塚, 力; 高木, 健太郎; 岸田, 治; 片山, 昇; 高橋, 廣行; 浪花, 愛子; 伊藤, 欣也; 実吉, 智香子; 五十嵐, 満; 和田, 克法; 大岩, 敏昭; 永井, 義隆; 古和田, 四郎; 小池, 義信; 椿本, 勝博; 大岩, 健一; 佐藤, 博和; 宮崎, 徹; 大岩, 真一; 岡, 翼
Citation	北方森林保全技術, 第32号, 1-11
Issue Date	2015-03-23
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/73044
Type	bulletin (article)
File Information	2013-32_1-1.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Ⅰ－１　天然更新によるトドマツ人工林複層林化への試み
－鋸谷式間伐と樹冠下掻起しの実践－

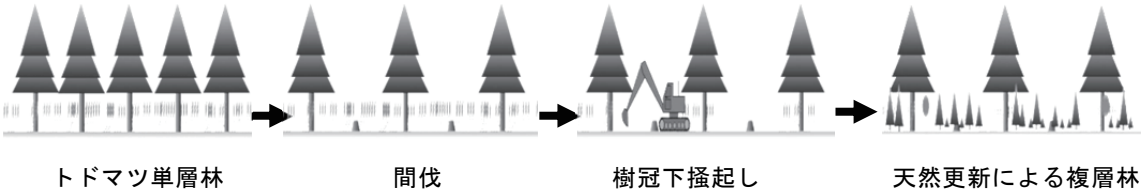
坂井 励[1],吉田俊也[1],小塚 力[1],高木健太郎[2],岸田 治[2],片山 昇[2],高橋廣行[2],浪花愛子[2],
伊藤欣也[2],実吉智香子[2],五十嵐 満[2],和田克法[2],大岩敏昭[2],永井義隆[2],古和田四郎[2],
小池義信[2],椿本勝博[2],大岩健一[2],佐藤博和[2],宮崎 徹[2],大岩真一[2],岡 翼[2]

1 雨龍研究林　2 天塩研究林

1.　はじめに

日本の国土の 3 分の 2 は森林に覆われ、このうち 4 割に相当する 1,035 万 ha が人工林である。これらは主に針葉樹の苗木を植栽することにより造成されてきた。日本林業は人工林伐採後も再び植栽するというサイクルを構築することで、持続可能な経営を目指している。しかし現状では植栽から 50 年生の人工林育成まで平均 231 万円/ha の経費がかかり、公的支援なしに林業経営を行うことは困難な状況にある[1]。この育林コストをいかに低減させるかが課題となっている。育林コストのうち約 4 割が、苗木生産、地拵え（苗木が植えられるように地表を処理する作業）、苗木の植栽などの更新費用である。この更新に天然更新を選択できれば、育林コストを大幅に下げることができる。北海道では多くの場合、地表を覆うササによって樹木の天然更新が阻害される。しかしこのササを重機で剥ぎ取り、鉱物土壌を裸出させる「掻起し」を行うことにより、天然更新を用いて森林を造成することができる。掻起しの成功率は高く、低コストで森林を造成する方法として道内で広く行われてきた[2]。掻起し施工地はおおむねカンバ類の一斉林になる。カンバは陽樹というカテゴリーに分類される。陽樹は成長に多くの光を必要とし、先駆樹種としていち早く成長する。それに対して陰樹に分類される樹種は少しの光で育つことができるが、初期成長が遅く遷移の後期に優占する。林冠開放度の高い場所で陽樹と陰樹が同時に更新すると、陰樹は陽樹に被圧され多くの場合消失する。今後は掻起しによって陽樹のカンバ類一斉林だけでなく、いかにトドマツなどの陰樹を育成していくかが課題となっている。陰樹を含めた多様な樹種の更新を促すためには、林冠開放度の低い樹冠下で掻起しを行い、カンバ類の定着、成長を抑制させることが有効であるとされている[3]。樹冠下掻起しの先行研究は天然林（天然生林）で実施されたが、人工林における実践例は少ない。人工林での樹冠下掻起しは、母樹の計画的配置（造林木樹種を天然更新の目的樹種とした場合）や林冠開放度のコントロールがより容易になることが期待される。

本試験ではトドマツ人工林で間伐を行い、その伐採跡地で樹冠下掻起しを行った。この施業によって誘導する林の目標、すなわち目標林型は上木が造林木トドマツ、下層が掻起しによって更新させた天然更新トドマツで構成される複層林とした（図－1）。この目標林型に向けて施業を行っていく中で、今回は更新初期時に着目し、天然更新したトドマツ稚樹の動態と施業（間伐及び掻起し）との関係を明らかにすることで、トドマツ天然更新技術を確立することを目的とした。



図－1　間伐と樹冠下掻起しによる複層林への誘導

2. 方法

（1）試験地

試験地は北海道北部に位置する北海道大学天塩研究林 303 林班の 76 年生トドマツ人工林に設定した。標高は 40m、ほぼ平坦な南向き斜面に位置する造林地で、面積 1.53ha を対象とした。トドマツ造林木の平均胸高直径は 34.7 ㎝、立木本数は 580 本/ha、蓄積は 669m^3/ha、胸高断面積合計は 57.5m^2/ha である。林床は一部ハリギリが更新している場所もあるが、おおむねクマイザサに覆われ更新木は見られない。

（2）間伐

間伐の選木には鋸谷（おがや）式間伐という方法を採用した。鋸谷式間伐はスギ人工林で体系化された密度管理の方法で、胸高断面積合計を指標として一定の範囲ごとに適正密度を計算しながら選木を行う方法である[4]。鋸谷式間伐の長所は、個体サイズや本数密度を測りながら選木をするため、林分評価に基づいた伐採率及び密度管理の目標値を林分の隅々まで適用できることにある。その結果として、個体サイズに応じて残存木がまんべんなく配置され、高い伐採率でも比較的風雪害に強い林分に仕立てることができるとされている。

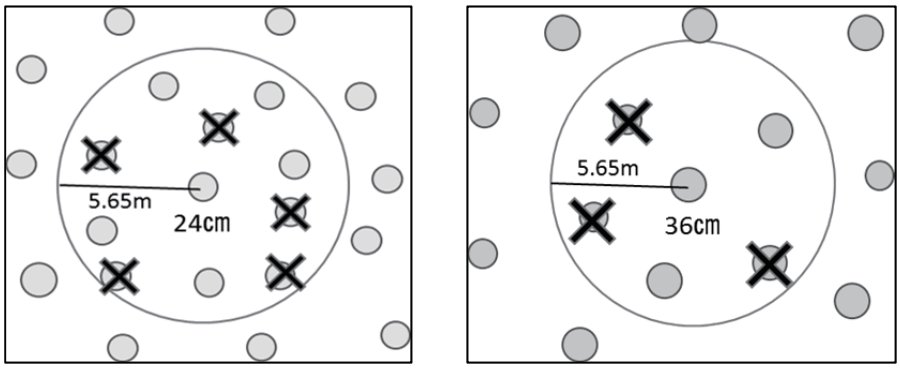
施業の前提となる伐採率及び密度管理の目標値は以下の仮定から定めた。まず、胸高断面積合計は樹種ごとに単位面積あたりに収容できる限界値があり、スギの場合は 80m^2/ha である。これが 50m^2/ha 以下の条件で管理されると風雪害に強いずんぐりとした樹形(形状比 70 以下)に育つことが知られている[4]。本試験では天塩研究林における林冠が閉鎖した高齢級トドマツ林分のデータを参考にして、トドマツの胸高断面積合計の限界値を 60m^2/ha とした。これをスギの限界値 80m^2/ha で除すると 0.75 になるので、トドマツはスギの 75%の割合で密度管理を行う。スギは 50m^2/ha 以下で風雪害に強い樹形に育つので、トドマツの場合はこれに 0.75 を乗じた 37.5m^2/ha 以下の密度を今回の伐採の目標とした。

目標値を林分に適用させるために、林内で一定面積の選木範囲を定める必要がある。鋸谷式間伐では、林内で一定の長さの竿を回転させ、それによってできる円の範囲を選木範囲とする。今回は 5.65m の長さの竿を使用した。その竿を回転させることによってできる円の面積は 100 m^2 となる。円の中心はサイズが大きく形質優良な個体とする。その個体の胸高直径を測り、胸高断面積を求める。その値と目標とする胸高断面積合計の上限値（今回は 37.5m^2/ha）から、100 m^2 あたりに収容できる残存木本数を割り出す。これはあらかじめ各胸高直径階に対応した残存木本数の表を作成しておくと選木作業をスムーズに行うことができる（表－1）。なお、鋸谷式間伐の短所は選木に多くの時間がかかることとされるが、本試験では通常の収穫調査に比べ 4 倍程度の時間を要した。

選木範囲内で優良な個体から順に残存木を選木し、選ばれなかった個体は全て伐採する（図－2）。これを繰り返して林分全体の選木を完了する。この選木作業の結果、伐採率は本数率 48%、蓄積率 42%となり、間伐後の立木本数は 300 本/ha、蓄積は 388 m^3/ha、胸高断面積合計は 32.5m^2/ha となった（図－3）。

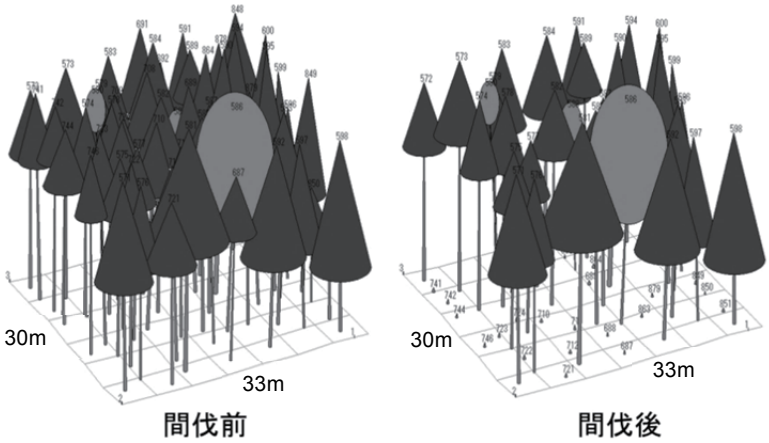
胸高直径 (㎝)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36
残存木本数	15.0	11.6	9.0	7.7	6.8	6.0	5.4	5.1	4.5	3.9	3.6	3.0

表－1　本試験における半径 5.65m の円（100 m^2）内に残すトドマツの本数換算表



中心木の胸高直径が 24 ㎝の場合　　中心木の胸高直径が 36 ㎝の場合

図－2　選木のモデル



図－3　間伐前後の森林構造図

（3）樹冠下掻起し

掻起しはバックホウ（日立 ZX130、アタッチメントは 0.45m^3 掘削用バケット）を使用した。バックホウはレーキドーザに比べ、剥いだササや表土を前後左右に移動させやすいので狭い範囲の掻起しに適している。主に伐採した木の伐根の周囲を中心に掻起しを行った。残存木の根をできるだけ切らないよう、残存木の樹冠を指標として、その内側は掻起しを行わないようにした。その結果、掻起しは林床面積比約 4 割の施工となった。掻起しに要したコストは約 3 人日/ha であった。掻起しは「ふるい落とし」と「表土戻し」という 2 つの仕様で行った。

①　ふるい落とし

ササを剥ぎとったあと、施工面の上でササの根をふるうことにより、できるだけ表土を施工面に落とす方法。表土の多くが施工面に残るので、養分が供給され更新木の成長が期待できる。

②　表土戻し

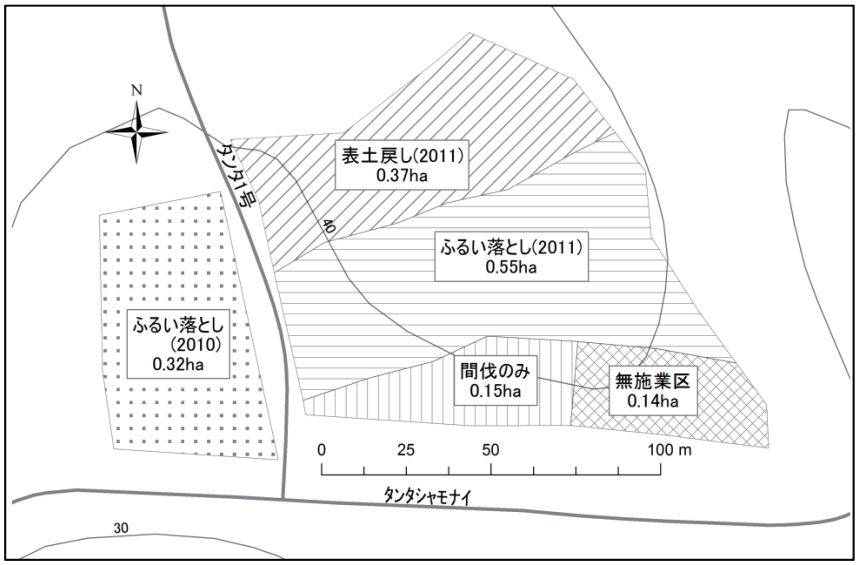
剥ぎ取ったササを表土ごと堆積させ、ササが枯死した後、再び施工面に敷き戻す方法。表土の養分だけでなく、ササの分解による養分も供給されるので、この施工法も更新木の成長が期待できる[5]。今回の試験では約一ヶ月半堆積させた後、敷き戻しを行った。

（4）処理区の種類

間伐の有無と掻起しの仕様を組み合わせ、試験地内に以下 5 つの処理区を設定した（図－4）。

① ふるい落とし施工区（2010 年）・・・・・間伐＋ふるい落とし（2010 年実行）

② ふるい落とし施工区（2011 年）・・・・・間伐＋ふるい落とし（2011 年実行）
③ 表土戻し施工区・・・・・間伐＋表土戻し（2011 年実行）
④ 無施業区・・・・・間伐も掻起しも行っていない処理区
⑤ 間伐のみ区・・・・・間伐は行い、掻起しは行っていない処理区



図－4　試験地　処理区位置図

（5）調査

①　更新調査

掻起しは樹冠下掻起しなので、施工面と未施工の場所が入り組んでいる。調査プロットが恣意的に選択されないよう巻き尺を用いて直線上に 5m ごとに杭を設置し、そのうち施工面に設置された杭を中心に調査プロットを設定した。プロットサイズは 1m×1m の方形プロットで、2010 年のふるい落とし区と無施業区、間伐のみ区が 3 カ所、2011 年のふるい落とし区と表土戻し区に 11 カ所設定した。更新調査の対象は木本生の樹種とし、樹種ごとに個体数と最大樹高を記録した。

②　光環境

林床の光環境を評価するために、プロット上で全天空写真を撮影し、フリーソフトウェア（CanopOn2:http://takenaka-akio.org/etc/canopon2/index.html）を用いて相対散乱光強度（SOC）を算出した。SOC は相対照度にほぼ相当すると考えられている[6]。撮影高度は 130 ㎝の高さで、下層植生（ササ）より高い位置である。

③　GreenRatio の算出

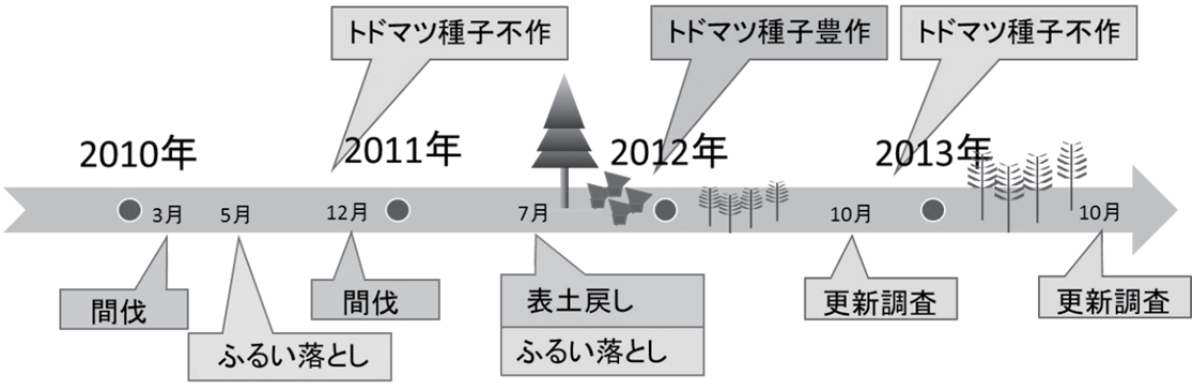
今回の調査では労力がかかるため草本の個体調査は行わなかった。しかし草本の回復は天然更新した稚樹の動態に大きな影響を与えると考えられる。そこでデジタルカメラで撮影された調査プロットの写真を利用して、可視光域の分光反射特性で解析が可能な GreenRatio を評価することにより、草本を含めた植生全体の回復を推定した。解析にはフリーソフトウェア（ZeGraph; http://www.Zegraph.co.jp/）を用い、解析範囲内で各画素のデジタルカウント値 R (red)、G (green)、B (blue) を抽出し、以下の式により GreenRatio を算出した。この GreenRatio が高ければ、植生の被覆が高いと推定することができる。

$$\text{GreenRatio} = G/(R+G+B) \qquad (式 1)$$

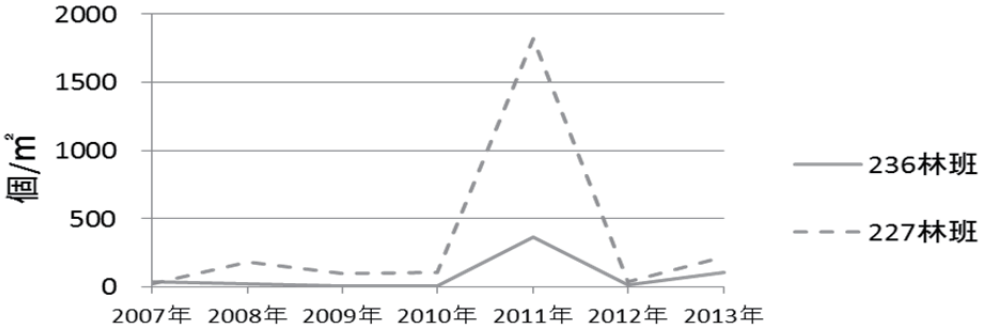
（6）施業と調査の時系列

施業と調査、およびトドマツ種子の豊凶の時系列を図－5 に示す。

間伐は 2010 年 3 月（西側）と 12 月（東側）に二回に分けて行った。掻起しは 2010 年 5 月にふるい落とし、2011 年 7 月にふるい落としと表土戻しを行った。更新調査と GreenRatio 算出のためのプロット写真撮影は 2012 年 10 月と 2013 年 10 月に実施した。全天空写真の撮影は 2012 年 10 月に実施した。トドマツ種子は 2011 年が豊作で 2010 年と 2012 年は不作であった。そのため 2012 年はたくさんの稚樹が発生したが、2011 年はごくわずか、2013 年は確認できなかった。このような経緯から今回、更新調査対象としたトドマツ稚樹はすべて 2012 年発生の個体となった。天塩研究林内の別の林班の天然林内で行っているシードトラップ調査で得られたトドマツ種子数の年変動を図－6 に示す。



図－5　施業及び調査の時系列

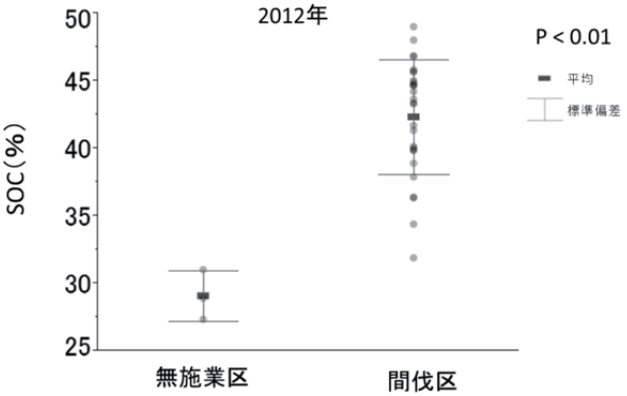


図－6　天塩研究林 236 林班及び 227 林班のシードトラップのトドマツ種子数（個/m²/年）

3.　結果

（1）間伐と林床の光環境の関係

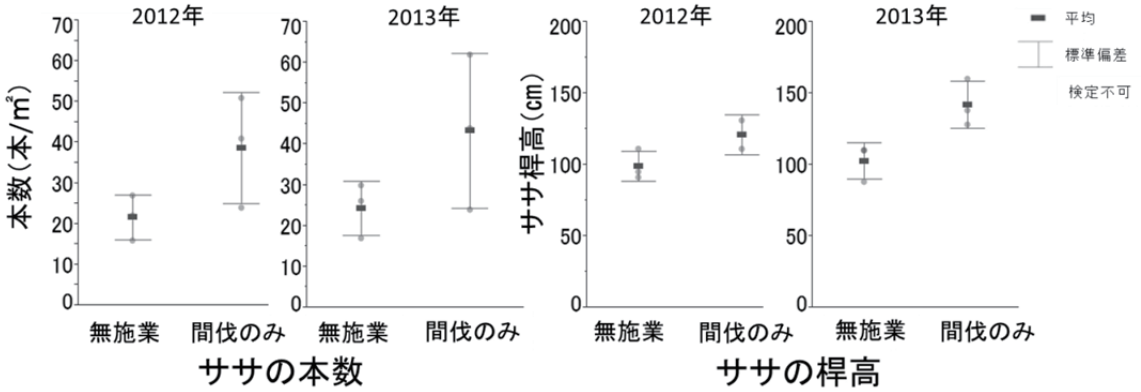
無施業区と間伐を行った区域の調査プロットの相対散乱光強度（SOC）を比較した。蓄積伐採率 42%の間伐を行うことにより、SOC は 13%程度高くなることがわかった（図－7）。



図－7　間伐と SOC の関係

（2）伐採が林床のササに与える影響

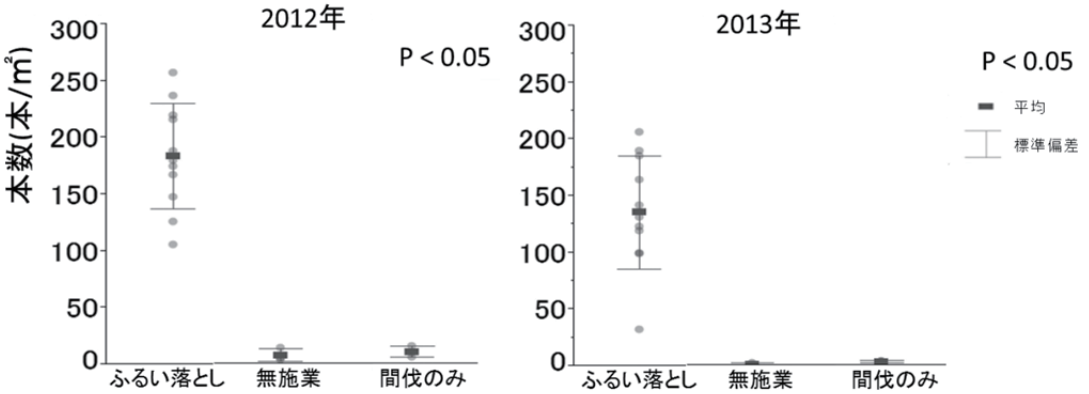
無施業区と間伐のみ区のササの本数及びサイズを比較することで、間伐が林床のササへ与える影響を調べた。間伐を行った処理区のササのほうが、無施業区のササより本数およびサイズが増加する傾向が見られた（サンプル数が少ないため検定不可）（図－8）。



図－8　間伐とササの本数およびサイズ

（3）掻起しの有無がトドマツ天然更新に与える影響

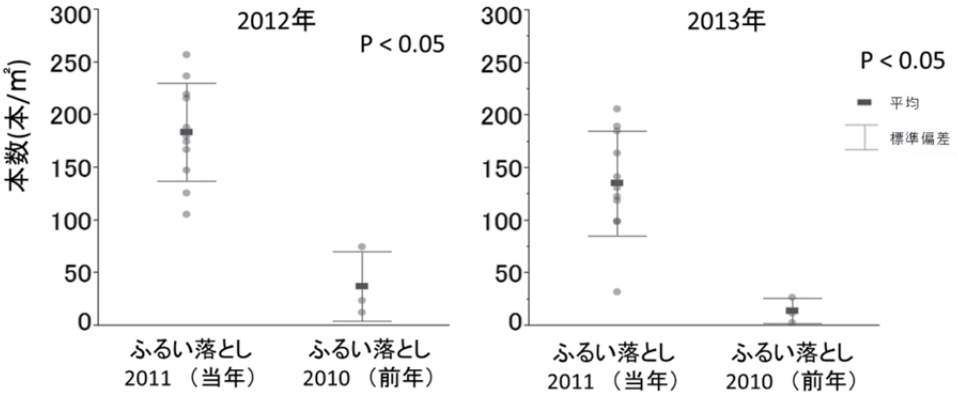
掻起しを行った 2011 年施工のふるい落とし区と、掻起しを行っていない無施業区及び間伐のみ区のトドマツ稚樹数を比較することで、掻起しの有無がトドマツ稚樹の更新に与える影響を調べた。無施業区、間伐のみ区はどちらも m^2 あたり約 10 本程度しか更新しなかったが、ふるい落とし区は m^2 あたり平均 180 本以上更新した（図－9）。



図－9　掻起しの有無とトドマツ稚樹数

（4）掻起しのタイミングがトドマツ稚樹の発生に与える影響

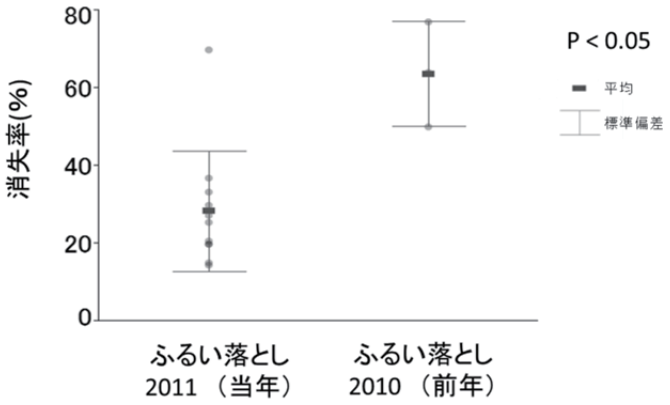
今回の試験で設定した処理区には種子散布直前に掻起しが行われた 2011 年ふるい落とし施工区と、種子散布前年に掻起しが行われた 2010 年ふるい落とし施工区がある。この 2010 年ふるい落とし施工区は 1 年間植生が回復した後にトドマツ種子が散布されたことになる。この二つの処理区のトドマツ稚樹数を比較ことにより、種子散布当年の掻起しがトドマツ稚樹の発生に有効かどうかがわかる。結果は種子散布当年に掻起しをした施工区のほうが前年に掻起しをした施工区に比べ、有意に高い稚樹の発生が見られた（図－10）。



図－10　掻起しのタイミングとトドマツ稚樹数

（5）掻起しのタイミングがトドマツ稚樹の定着に与える影響

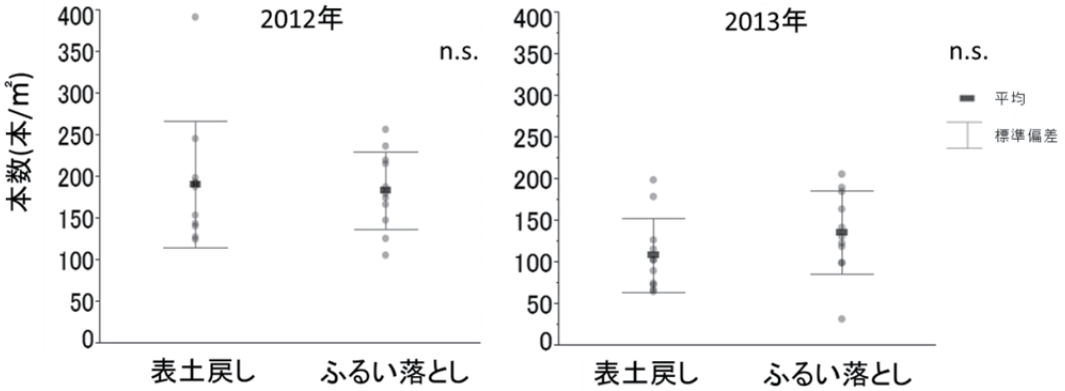
2011 年ふるい落とし施工区と 2010 年ふるい落とし施工区のトドマツ稚樹の2012年から2013年にかけての稚樹の消失率を比較することにより、種子散布当年の掻起しがトドマツ稚樹の定着に有効かどうかがわかる。種子散布前年に掻起しをした施工区のほうが当年に掻起しをした施工区より、トドマツ稚樹の消失率が有意に高かった（図－11）。



図－11　掻起しのタイミングとトドマツ稚樹消失率

（6）施工法の違いがトドマツ稚樹の発生に与える影響

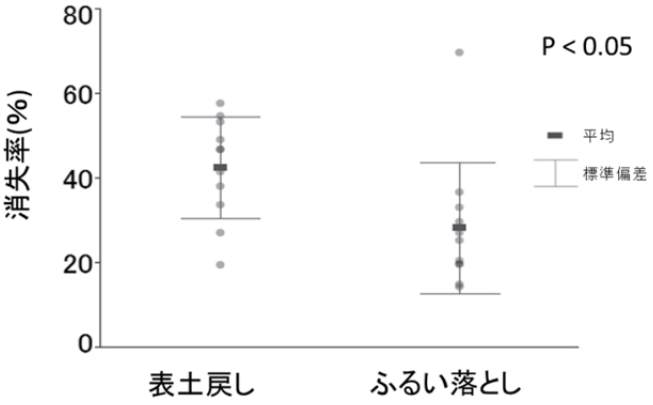
2011 年に施工した表土戻し施工区とふるい落とし施工区のトドマツ稚樹数を比較し、どちらの施工法がトドマツ稚樹の発生に適しているかを調べた。稚樹の発生数はどちらの施工も m^2 あたり 180 本以上（2012 年）という良い成績で更新し、施工法による差は認められなかった（図－12）。



図－12　掻起し施工法とトドマツ稚樹数

（7）施工法の違いがトドマツ稚樹の定着に与える影響

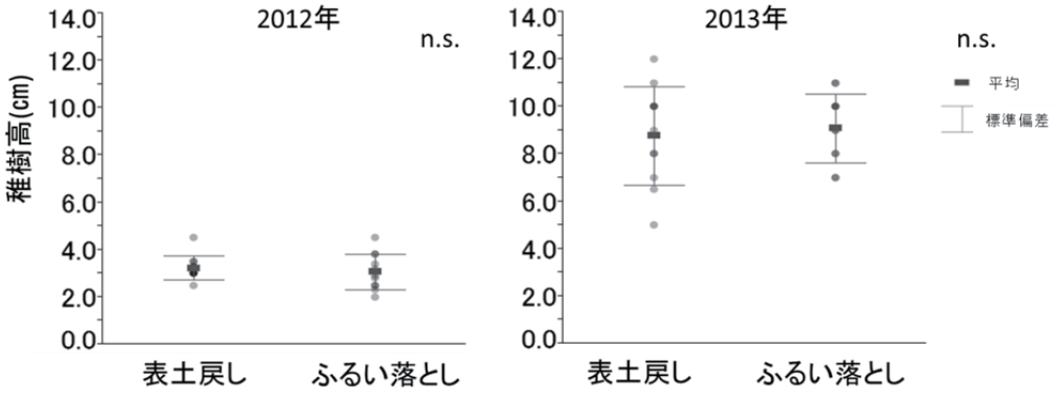
2011 年に施工した表土戻し施工区とふるい落とし施工区のトドマツ稚樹の2012年から2013年にかけての消失率を比較し、どちらの施工法がトドマツ稚樹の定着に適しているかを調べた。消失率は表土戻しのほうが有意に高い傾向が見られた（図－13）。



図－13　掻起し施工法とトドマツ稚樹消失率

（8）施工法の違いがトドマツ稚樹の成長に与える影響

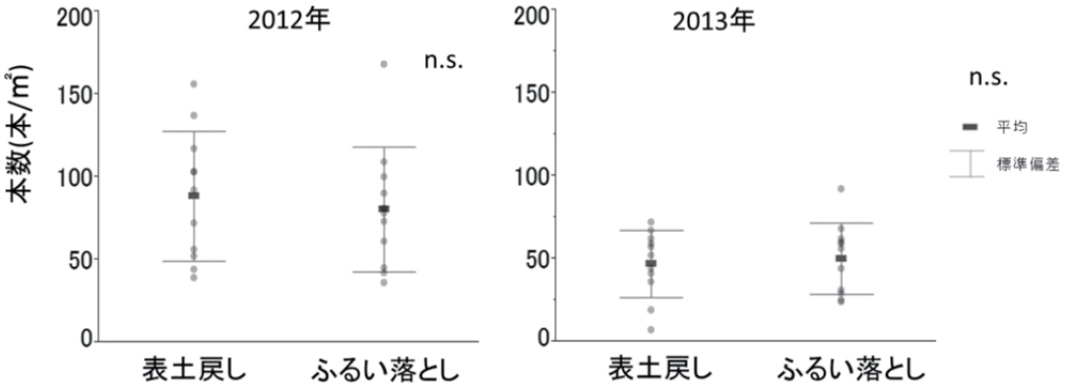
表土戻し施工区とふるい落とし施工区のトドマツ稚樹高を比較し、どちらの施工がトドマツ稚樹の成長に適しているかを調べた。どちらの施工区のトドマツも順調に成長し、施工法による違いは見られなかった（図－14）。



図－14　掻起し施工法とトドマツ稚樹高

（9）施工法の違いが広葉樹稚樹の発生に与える影響

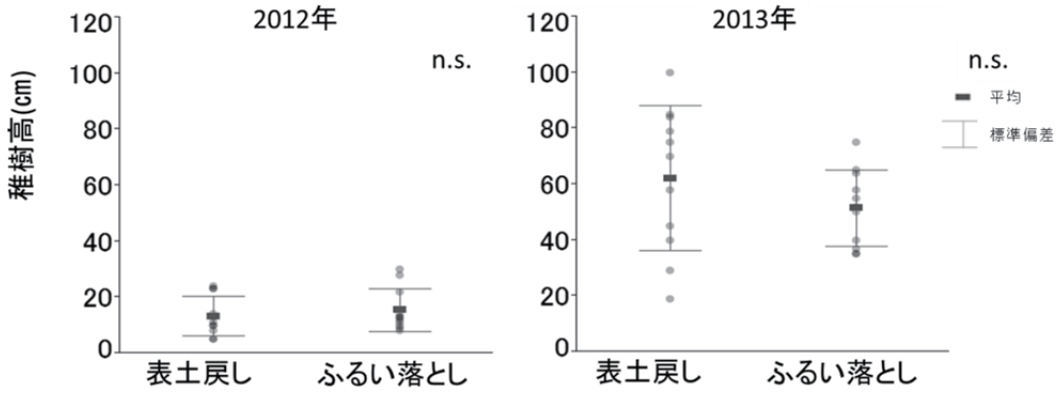
掻起し施工地には広葉樹稚樹も多く更新した。その樹種別の割合は88%がカンバ類で占められた。これら広葉樹の稚樹数を表土戻し施工区とふるい落とし施工区で比較し、どちらの施工が広葉樹稚樹の発生に適しているかを調べた。どちらの施工区も広葉樹稚樹の着実な更新が見られた。施工法による発生数の差は見られなかった（図－15）。



図－15　掻起し施工法と広葉樹稚樹数

（10）施工法の違いが広葉樹稚樹の成長に与える影響

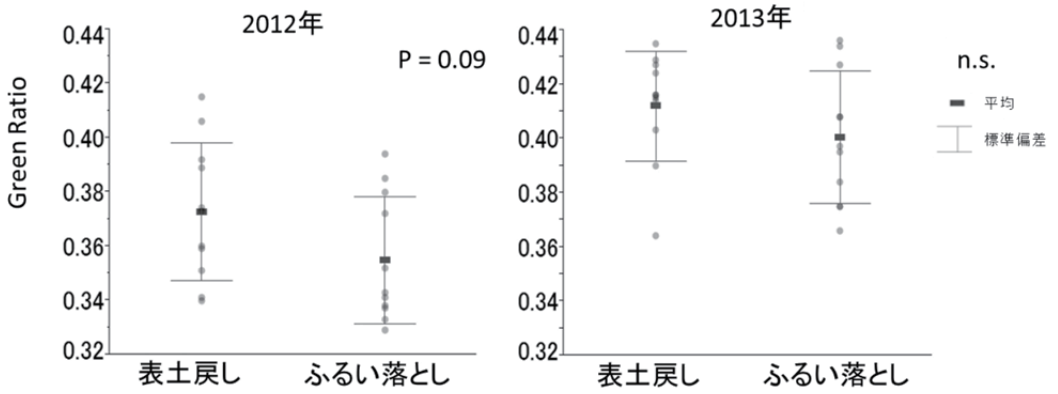
表土戻し施工とふるい落とし施工の広葉樹稚樹高を比較し、どちらの施工が広葉樹稚樹の成長に適しているかを調べた。どちらの施工区においても旺盛な成長が見られた。施工法の違いによる有意な差は認められなかった（図－16）。



図－16　掻起し施工法と広葉樹稚樹高

（11）施工法の違いが植生の回復に与える影響

表土戻し施工区とふるい落とし施工区の GreenRatio を比較し、どちらの施工が草本も含めた植生の回復に適しているかを調べた。どちらの施工区も 2012 年から 2013 年にかけて植生が回復していることがわかった。そして有意差は出なかったが、表土戻し施工のほうが植生の回復が早い傾向が見られた（図－17）。



図－17　掻起し施工法と GreenRatio

4.　考察

間伐により林床の光環境が改善し、ササの成長が促進される一方、間伐だけではトドマツ稚樹の更新は促進されない。掻起しをすることによって、トドマツ稚樹の十分な更新が認められた。このことからササ型林床において天然更新を目的とするならば、掻起しは明らかに有効である。掻起しをするタイミングはトドマツ稚樹の発生数、定着率ともに種子散布当年の掻起しのほうが有効であることがわかった。掻起し施工から種子散布までの期間が長くなるほど、植生の回復によりトドマツ稚樹の発生、定着が阻害されるためだと推測される。可能であれば、トドマツの結実を確認した年に掻起しを行うのがよい。

表土戻しとふるい落としの施工法の違いによるトドマツ稚樹の発生数と成長の差は見られなかった。表土戻しは表土の多くを施工地から取り去ってしまう通常の掻起しに比べ、樹木の成長速度が大幅に高くなることが認められている[5]。ふるい落としの表土を施工面にふるい落と

す行為は、成長速度に対して表土戻しと同じかそれに近い効果をもたらしたと考えられる。また GreenRatio の解析から表土戻しのほうが、ふるい落としより植生の回復が高い傾向が見られた。トドマツ稚樹の消失率は表土戻しのほうが高い。このことから草本を含めた植生の回復が、トドマツ稚樹の定着を阻害したのではと考えられる。掻起し地における先行研究では、逆に植生の回復がトドマツの定着を促進しているとの報告がある[7]。林冠開放度の高い箇所ではトドマツ稚樹は夏期の乾燥によって死亡が高まることが報告されており[8]、そのような場合、下層植生はトドマツ稚樹の乾燥ストレスを緩和する役割を果たすと考えられる。しかし、本試験地では掻起し施工地に上木がまんべんなく配置され、施工地は適度な被陰の状態におかれていた。そのため草本植生は、トドマツ稚樹に促進効果をもたらさず、むしろ競合相手になったのではと考えられる。これらの結果から、トドマツ人工林内でトドマツ稚樹の天然更新を目的として樹冠下掻起しを行う場合、稚樹の定着率がより高いふるい落とし施工を選択するほうがより有効であることが示唆された。

本試験では樹冠下で掻起しを行うことにより、トドマツ稚樹と競合するカンバ類の定着、成長を抑制する効果を期待したが、旺盛な更新と成長が見られた。蓄積伐採率 42%の間伐により、林床の相対散乱光強度（SOC）は平均で 42%となったが、この光環境ではカンバ類の定着、成長を抑制するレベルに達していないのであろう。相対光合成有効放射 20%以上では、ダケカンバの更新成績はトドマツに優るとの報告がある[3]。本試験地においてトドマツ造林木は上木として母樹の役割は十分に果たしたが、カンバ類を十分に抑制する効果は得られなかった。このままの状態で遷移すれば、トドマツ稚樹はカンバ類に被圧され、いずれ消失する可能性が高い。対策として、伐採率をより低くして掻起し施工面の林冠開放度をより低くする方法が考えられる。しかしそうすると掻起し施工サイズを小さくせざるを得なくなり、本試験地のサイズ以下になると、今回使用したサイズのバックホウ（バケット容量 0.45m^3）の最低必要な作業範囲が得られない。バックホウの機体サイズを小さくすることで作業範囲の問題は解決できるが、作業コストがより高くなるという新たな課題が発生する。また掻起し施工サイズを小さくすることによって、未施工地に生残しているササに侵入される可能性がより高くなる。

本試験地のような施工地でこれから選択し得る手法として、トドマツ稚樹の刈りだし作業が考えられる。刈りだし作業とは刈り払い機を用いて、トドマツ稚樹を被圧している広葉樹や草本植生を刈り払う作業である。トドマツ稚樹の苗高が 10～15 ㎝に達していれば間伐などの環境変化に耐える[9]との報告がある。そのため刈りだしのタイミングはトドマツ稚樹高が 10 ㎝程度に達した時が目安になるであろう。本試験地ではトドマツ稚樹高が天然更新 2 年目で 9 ㎝（1m^2 あたりの最大個体の平均）に達しているので、近い時期に刈りだしを行うことが有効であると考える。天然更新したトドマツ稚樹の刈りだしの実行を更新・保育過程に組み込むことを前提とするならば、上木の伐採率をより高くして、掻起しの施工サイズを大きくしてもよいかもしれない。しかし種子散布量の低下、施工面の乾燥等、それに付随するデメリットはいくつか考えられる。トドマツ天然更新技術の体系化に向け、様々なパターンの施業を実行記録し、それぞれを比較評価していくことが今後の課題であろう。

参考文献

[1] 林野庁,2013,平成 24 年度森林･林業白書,126

[2] 梅木清,2003,北海道における天然林再生の試みーかき起こし施業の成果と課題ー,日本林学会誌 85(3),246-251

[3] 佐藤創,1999,樹冠下かき起こしによる多様な樹種の更新（Ⅱ）ー林冠開放度と種多様性の関係ー,北海道林業試験場研究報告,36,37-46

[4] 鋸谷茂・大内正伸,2002,新鋸谷式間伐マニュアル,13-30,社団法人全国林業普及協会

[5] Aoyama, K., Yoshida, T. and Kamitani, T. ,2009, An alternative of soil scarification treatment for forest restoration: effects of soil replacement. Journal of Forest Research, 14: 58-62.
[6] 荒木真岳・宇都木玄・石塚森吉,2000,ヒノキ人工林内における相対照度と全天空写真による開空度の検討, 日林関東支論 51：83-84
[7] 原田茜・吉田俊也・Victor Resco de Dios・野口麻穂子・河原輝彦,2008,北海道のササ掻起し地における施工後 6－8 年の高木性樹種の動態,日本森林学会誌,90,397-403
[8] 野口麻穂子・香山雅純・吉田俊也・小池孝良,2003,冬山造材を行った地域におけるトドマツ前生稚樹の光合成特性,日本林学会北海道論文集,51,36-38
[9] 菊沢喜八郎・福地稔・水谷栄一・浅井達弘,1980,トドマツ人工林の天然下種更新（II）―林内更新のための施業指針―,北海道林業試験場報告,18,11-23