

地がきカンバ更新地における表層土壌容積重の回復過程

森林総合研究所北海道支所
森林総合研究所

伊藤 江利子・橋本 徹
相澤 州平

はじめに

北海道ではトドマツ人工林が主伐期を迎えている。主伐後の低コスト天然更新補助作業として地がき施業が注目されている。地がき（道有林では「かき起こし」）は大型機械を使用して密生するササを根系から除去して鉦質土層を露出させ、天然更新を図る更新補助作業の一種である。

現存量にして道内で最大 140 Mg ha^{-1} に達するササ類⁽⁶⁾が優占する無立木地を森林化する試みは道内では古くから実施されている。1950年代まではチシマザサをパルプ原料や農耕用に伐採利用した跡地にカンバ類（主としてダケカンバ）の天然下種更新を期待して火入れを行う程度のものであった⁽¹⁵⁾。国有林では函館営林局管内で1958年より天然下種更新第1類（天然更新に際して人工を加えるもの）として指定し、事業的に意図されたカンバ類天然下種更新が始まった。これは管内渡島半島北部（黒松内低地帯以北）の高標高脊梁地帯を対象に、高寒地トドマツ・エゾマツ造林地における植栽苗木の保護樹とするため、目的樹種に先立ち先駆樹種であり利用価値も高いダケカンバの導入をはかる名目で行われた⁽¹⁵⁾。その後旭川営林局上川営林署内における実施試験も行われた⁽¹⁵⁾。ササ全刈の後に火入れを行う、火入れ地拵えによる天然更新補助作業の詳細は既往報告^(4,6,9,15,26)に詳しい。また薬剤散布によるササ枯殺の試みも広く実施された。火入れ地拵えでは地表被覆物がよく焼却・除去された B_D 型土壌の立地で良好な更新・成長が報告されているが⁽¹³⁾、焼却が不十分な場合も多く、また林床処理後の地表が燃え残りや炭に覆われていた場合には更新に失敗した⁽¹⁵⁾。

地がきは火入れ地拵えによる不十分な林床処理を補完する地表処理として1960年代に導入された。人力で地がきをしていた時代は実施面積もわずかであったが、地がき処理に大型機械が使われるようになり、また社会状況的に火入れ・薬剤散布による地拵えの実施が難しくなったことを背景に、林床処理と地表処理を同時に行う手法として機械地がき面積が一挙に拡大した。道有林では1963年（昭和38年）に先ず大型機械による地下部処理（ブル地拵え）が導入された^(10,11)。その4年後の1967年には雄武経営区奥幌内地区で、人工造林が難しい寒冷多雪地帯における植栽を伴わない新たな更新方法である「かき起こし作業」試験地が設定され、1973年頃より本格的な地がきの事業化が図られた⁽¹⁴⁾。このように地がき処理は1970年代には道内で広く実施された。

地がき処理に用いられる建機およびアタッチメントは年代ごとに変遷している。初期には排土板を装着した10tクラスのブルドーザが用いられた。1973年頃を境にブルドーザにレーキアタッチメントを装着したレーキドーザに

切り替わった⁽¹⁾。現在では、10tクラスの油圧ショベルとグラップルバケットやグラップルでつかんだレーキブレード等が用いられている^(7,8)。いずれの機械においても、3～10m程度の地がき幅・残し幅で30～50%の面積を筋状に地がきする仕様、ないしは孔状ササ地を全面地がきする仕様が多く実施された。その他、地がきに用いられた大型機械の機種や地がき幅などの仕様は国有林⁽²⁶⁾および道有林⁽¹⁾について詳細に報告されている。

ササ地の森林化という目的において地がき施業は一定の成果を挙げており、道有林におけるレーキドーザ地がきによるカンバ林の造成は高い成功率を収めている^(1,14,29)（ただし20年生までの知見）。1990年代後半以降の研究は多様な樹種構成の森林を目標とし、種子散布や埋土種子と地がき更新後の種組成の関係について、処理後5年以下^(19,20,21,30)、5-10年後^(2,5,18,19)、10-20年後^(2,19,29)、20年以上^(28,29)と数多く調べられてきた。

現在ではカンバ材需要の高まりを背景に⁽²³⁾、カンバ林の効率的な更新・育林技術の確立が求められている。地がきによるカンバ林の造成手法は養分豊富な表層土壌を除去することから、特に造林二代目以降の地力低下が懸念される。土壌に対する地がきの影響がどの程度の期間残存するのかを明らかにする必要がある。近年の地がき施業で主に使われるグラップルとレーキの組み合わせやバケットによる地がき作業直後の表層土壌の変化は既往の報告がある^(7,8)。本発表では1970～1990年代にブルドーザやレーキドーザを用いて処理された比較的攪乱程度の大きい地がきカンバ更新地を対象に、表層土壌の攪乱と回復の程度を、表層土壌容積重を指標として調査したので報告する。

調査地と方法

北海道内の国有林、旧旭川・札幌局における1971～1996年に地がき更新処理を行ったカンバ林20林分を調査地とした（表1）。このうち実施年代が最も古い上川北部森林管理署2198林班ろ小班（以下「朝日」と称する）は1971年8月に大型ブルドーザD60型（12.5t）の排土板による地がき処理が行われたことが記録により確認された⁽²⁾。また1973年処理の定山溪事業区2180林班ろ小班と1996年処理の増毛事業区新信砂川源流域33林班へ小班ではレーキドーザによる処理と確定した。その他の17調査林分では、主たる使用機が1973年（昭和48年）頃からレーキドーザに切り替わったとの知見により⁽¹⁾、レーキドーザを使用した可能性が高い。

調査は2015年6月から2017年6月までの期間に行い、調査時における調査地林分の地がき処理からの経過年数は21～44年であった。地がきカンバ更新地における幅3～

Eriko ITO, Toru HASHIMOTO (Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Hitsujigaoka-7, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8516), Shuhei AIZAWA (FFPRI, Matsunosato-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687)
Surface soil bulk density in birch forests developed following soil scarification

5mの処理区(掻き帯)および対照区(残し帯)において、100cc 採土円筒を使用し、表層土壌(鈳質土層の深さ 0~5cm)を採取した。試料は処理区、対照区各2本のそれぞれ2箇所または3箇所から採取した。採取サンプル数は各林分8または12である(ただし2林分で例外的に2または4,表1)。採取した土壌は風乾後に細土、根、礫に分け、容積重(採土円筒の容積から根と礫の体積を除いた細土容積あたりの細土の乾重)を算出した。

容積重の回復に対する地がき処理からの経過時間の影響を検証するため、一般化混合線形モデル(GLMM)を用いて解析した。容積重の説明要因として、地がき処理(以下、処理)、処理からの経過年数(以下、時間)、処理と時間の交互作用の影響をモデルに組み込んだ。また林分の違いはランダム効果とした。排土板を装着したブルドーザ地がきが行われたことが判明した朝日はモデルではデータから除いて解析した。

結果と考察

1) 地がきが容積重に及ぼす影響

地がきカンバ更新地における表層0~5cm土壌容積重の頻度分布を図1に示す。調査地内での繰り返しを考慮せずに求めた全採取試料の容積重の平均値(±標準偏差)は処理区で $0.60 \pm 0.22 \text{ g cm}^{-3}$ (n=91)、対照区で $0.45 \pm 0.17 \text{ g cm}^{-3}$ (n=91)だった。林野庁森林吸収源インベントリ情報整備事業第一期調査で得られた全国の森林土壌容積重の平均値(±標準偏差)は $0.48 \pm 0.19 \text{ g cm}^{-3}$ (0~5cm), $0.62 \pm 0.22 \text{ g cm}^{-3}$ (5~15cm), $0.68 \pm 0.26 \text{ g cm}^{-3}$ (15~30cm)である⁽¹⁶⁾。対照区の容積重が全国の0~5cmの容積重と大差ない一方で、処理区の容積重は全国の5~15cmの値に近いものであった。なお、0~30cmの容積重としては全国平均値 0.562 g cm^{-3} 、北海道平均値 0.565 g cm^{-3} という値が報告されており、全国と北海道で容積重には際立った違いはない⁽¹⁷⁾。処理区の容積重が大きく、また容積重が5~15cmの値に近いことは、地がき処理による表土剥離の影響と考えられる。地がき処理で除去された土壌の深さについては幾つかの記載がある。本研究の調査地の大部分を占めると考えられるレーキ地がきでは、1959年(昭和34年)に今金事業区で先進的に施行されたコマツD50ブルドーザに抜根用レーキを装着した事例で平均12cmの地がき深度⁽²⁷⁾、1997年に北海道大学雨龍研究林で行われたレーキドーザによる研究事例でおよそ10cmの地がき深度⁽⁹⁾が報告されている。また、排土板装着ブルドーザを用いた地がきの事例として清水営林署における10~19cmの値が紹介されている⁽²⁶⁾。本研究の処理区試料で散見された 1.0 g cm^{-3} を超える容積重の値は全国の15~30cmの容積重平均値を上回るものであり、実際の施業においては地がき深度が深めとなっていた場合もあると推察された。

カンバ類の成長に土壌容積重を始めとする土壌物理性の重要性が示されている。ウダイカンバの地位指数を従属変数として立地要因・土壌要因の影響を数量化I類で解析した例では、成長適地の条件として、湿潤な水分条件(B_E型・B_D型土壌)とともに、透水性・通気性に優れたA層が厚さ15cm以上あることが挙げられている⁽²⁵⁾。主要造林樹種(スギ、ヒノキ)を対象とした同様の手法による解析でも表層土壌の堅密度や根圏土層の厚さが地位指数と連関

することが認められている^(3,12)。他方で透水性・通気性に劣る土層の厚さは小さい方が成長に好適で⁽²⁵⁾、非火山灰を母材とする地域ではウダイカンバの地位指数に土壌容積重が関与するとされる⁽²³⁾。ウダイカンバの地位指数が下位の地点のB₁層容積重として 1.08 g cm^{-3} が提示されており⁽²³⁾、本研究の処理区試料で散見された表層土壌容積重が 1.0 g cm^{-3} を超える値を示す処理区ではカンバ類の良好な成長は見込めないものと推察される。

2) 経過年数と容積重の関係

地がき施業からの経過年数と容積重の関係を図2に示した。処理区、対照区とも経過年数が増加すると容積重が減少する傾向が認められ、処理区では減少傾向がより顕著であった。時間の増大とともに処理区と対照区の容積重の差は減少し、排土板装着ブルドーザ処理を行った朝日を除けば、おおむね施業後40年前後で容積重の処理区・対照区間の差が不明瞭となった。朝日では、経過年数に比して処理区の表層土壌容積重が大きかった。排土板装着ブルドーザ処理はレーキドーザ処理より容積重を増大させることが示唆された。

一般化混合線形モデル(GLMM)の結果を表2に示した。処理、時間、処理と時間の交互作用はいずれも容積重に対して有意であった。処理の有意性により過去の地がき処理による表層土壌の剥離影響が処理後21~42年に渡って残存することが示された。また、時間の有意性により容積重は時間の経過に伴って減少することが示された。

モデルによる時間に対する容積重予測値と信頼区間を図3に示す。処理区容積重の減少速度は対照区より大きく、処理区と対照区の差は時間とともに減少する(処理と時間の交互作用、表2)。処理区の予測値が対照区予測値の信頼区間内に含まれる処理後37年以降が容積重回復のひとつの時間的目安になると考えられる。

レーキドーザによる表層土壌の物理性の劣化が概ね40年で回復することを踏まえると、土壌物理性の観点から40年未満の伐期は避けるべきであろう。しかし、地がき処理は土壌物理性の悪化に加えて、栄養分豊富な土壌表層を持ち出すことによる地力低下も懸念される。地がき地の土壌窒素動態を調べた例⁽²²⁾では植生吸収量の減少と、土壌炭素の減少を起因とする微生物による硝酸態窒素の正味有機化の減少のために、短期的には地がき地で正味硝化速度が増加するとされるが、地がきによる地力低下により林木の長期的な成長を劣化させる可能性は否定できない。道内の地がき(かき起こし)跡地に成立した20年生内外のカンバ林の成長を森林伐採跡地や山火事跡地に成立した地がきに依らないカンバ林と比較した事例⁽²⁹⁾では、地がき林分の樹高成長は非地がき林分より大きいと結論付けている。この原因については現段階では不明で今後の研究の進展が望まれる。

カンバ材生産林業を成立させるためには、カンバ類の更新と成長を両立する適切な施業体系の確立が必要である。本稿では地がきによる土壌物理性への影響について、表層土壌容積重を指標として、影響の程度とその時間的回復について報告した。今後は養分状態の回復過程にも着目し、持続可能な施業体系を確立する必要がある。

謝辞

本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「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」による成果である。本研究の遂行に当たり、多大な協力を頂いた北海道森林管理局各位に深く感謝申し上げる。

引用文献

- (1) 青柳正英 (1983) 道有林の「かき起こし」の実態. 北方林業 **35**: 49-53.
- (2) 朝日営林署 (1986) 地がきによるカンパ類の天然更新. (旭川営林支局編, 代表的な森林施業地の概要. 昭和 61 年 3 月), 67-69.
- (3) 古池末之 (1988) 兵庫県下の流紋岩および古生層母材地域におけるヒノキ地位指数推定表. 兵庫林試研報 **35**: 60-70.
- (4) 函館営林局 (1968) カンパ類の下種更新—ダケカンパを主として— 函館営林局 林業試験場北海道支場 共同研究報告書. 函館営林局, 函館, 92pp.
- (5) 原田茜・吉田俊也・Victor Resco de Dios・野口麻穂子・河原輝彦 (2008) 北海道のササ掻き起こし地における施工後 6-8 年の高木性樹種の動態. 日林誌 **90**: 397-403.
- (6) 原田洗・豊岡洪 (1984) ササの分布及び生理生態. (日本林業技術協会編, 特定地域森林施業基本調査 北海道における天然林施業 (ササ地における天然林施業). 北海道営林局, 札幌, 214pp), 1-39.
- (7) 橋本徹・相澤州平・伊藤江利子 (2016) グラップルレーキによる地掻き後の土壌断面形態. 北方森林研究 **64**: 53-56.
- (8) 橋本徹・相澤州平・伊藤江利子・倉本恵生 (2017) グラップルバケットによる地掻き後の土壌断面形態. 北方森林研究 **65**: 69-72.
- (9) 五十嵐恒夫 (1984) ササ生地の天然更新の実態. (日本林業技術協会編, 特定地域森林施業基本調査 北海道における天然林施業 (ササ地における天然林施業). 北海道営林局, 札幌, 214pp), 123-208.
- (10) 猪川重徳・鳥井昌男 (1968) ブル地拵法. 北方林業 **20**: 73-76.
- (11) 猪川重徳 (1972) ブルドーザ地拵法の開発. 北方林業 **24**: 213-216.
- (12) 小谷二郎・千木容 (2006) 立地環境要因によるスギ高齢林の地位指数および形質の推定. 石川県林試研報 **38**: 16-20.
- (13) 前川光夫・瀧澤廣行・馬上千恵・安保順治・市川勉 (2001) 広葉樹幼齢林の施業 (1) —火入れ地拵えによる天然下種更新と成長—. 北方林業 **54**: 33-35.
- (14) 三好英勝 (1996) 道有林におけるかき起こし作業の成果. 北方林業 **48**: 105-108.
- (15) 中野実・村井英夫 (1970) 造林樹種の特性 前編 カンパ類の更新. 北方林業叢書第 46 集, 北方林業会, 札幌, 118pp.
- (16) Nanko K, Ugawa S, Hashimoto S, Imaya A, Kobayashi M, Sakai H, Ishizuka S, Miura S, Tanaka N and Takahashi M (2014) A pedotransfer function for estimating bulk density of forest soil in Japan affected by volcanic ash. Geoderma **213**: 36-45.
- (17) Nanko K, Hashimoto S, Miura S, Ishizuka S, Sakai Y, Levia DF, Ugawa S, Nishizono T, Kitahara F, Osone Y and Kaneko S. (2017) Assessment of soil group, site and climatic effects on soil organic carbon stocks of topsoil in Japanese forests. Eur. J. Soil Sci. **68**: 547-558.
- (18) Resco de Dios V, Yoshida T and Iga Y (2005) Effects of topsoil removal by soil-scarification on regeneration dynamics of mixed forests in Hokkaido, Northern Japan. For. Ecol. Manage. **215**: 138-148.
- (19) 斎藤新一郎・斎藤満 (1983) 亜高山帯における機械地拵えによる天然更新技術. 北海道林業試験場報告 **21**: 59-73.
- (20) 佐藤創 (1998) 樹冠下のかき起こしによる多様な樹種の更新 (I) —種子散布から実生定着までの過程—. 北海道林業試験場研究報告 **35**: 21-30.
- (21) 佐藤創 (1999) 樹冠下のかき起こしによる多様な樹種の更新 (II) —林冠開放度と種多様性の関係—. 北海道林業試験場研究報告 **36**: 37-46.
- (22) 柴田英昭・小澤恵・佐藤冬樹・笹賀一郎 (2007) 森林施業に伴う地表処理が土壌窒素動態に及ぼす影響とそのメカニズム. 日林誌 **89**: 314-320.
- (23) 嶋瀬拓也 (2014) 先駆樹種の活用による“身軽な”林業の実現に向けて—天然更新力を活かした省力化林業の可能性—. 山林 **1565**: 27-35.
- (24) 塩崎正雄・真田悦子 (1985) ウダイカンパの生長と土壌条件. 北方林業 **37**: 261-264.
- (25) 塩崎正雄・真田悦子 (1990) ウダイカンパの生長適地. 北方林業 **42**: 124-128.
- (26) 田口豊 (1984) ササ類の処理方法. (日本林業技術協会編, 特定地域森林施業基本調査 北海道における天然林施業 (ササ地における天然林施業). 北海道営林局, 札幌, 214pp), 40-122.
- (27) 高橋一雄 (1962) 機械力による天然下種地ごしらえについて. 銀葉 **84**: 51-55.
- (28) 滝川寛之・松井理生・中川雄治・後藤晋 (2014) 東京大学北海道演習林において 20 年以上が経過した低標高域の地がき地におけるウダイカンパの更新状況. 東京大学農学部演習林報告 **131** : 41-55.
- (29) 梅木清 (2003) 北海道における天然林再生の試み—かき起こし施業の成果と課題—. 日林誌 **85**: 246-251.
- (30) Yoshida T, Iga Y, Ozawa M, Noguchi M and Shibata H (2005) Factors influencing early vegetation establishment following soil scarification in a mixed forest in northern Japan. Can. J. For. Res. **35**: 175-188.

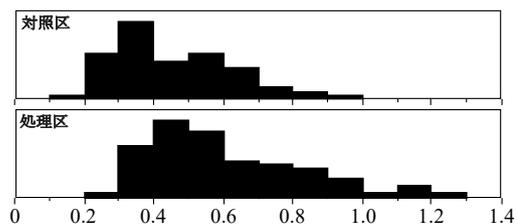


図-1 地がきカンパ更新地における表層 0-5 cm 土壌容積重の頻度分布

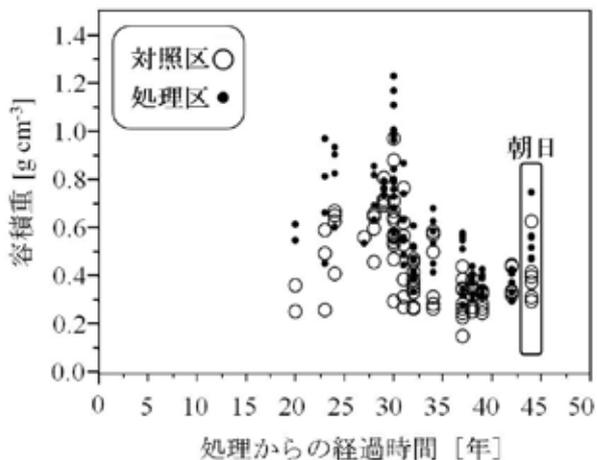


図-2 地がき後の経過年数と土壌容積重 (表層0-5 cm) の関係

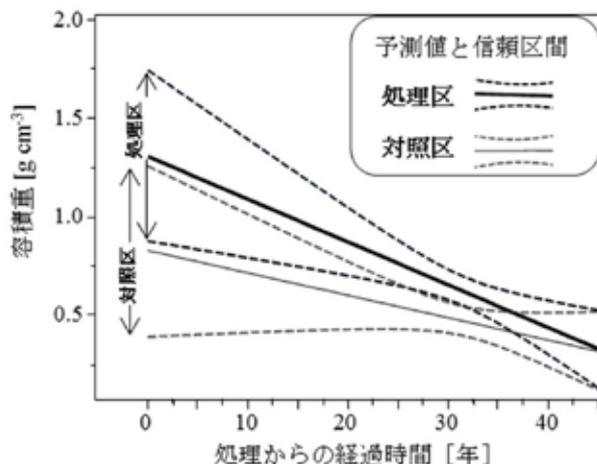


図-3 一般化混合線形モデルによる地がきカンパ更新地の土壌容積重 (表層0-5 cm) の予測値と信頼区間

表-1 調査地一覧

地区	林班	地がき年	経過年数 ¹⁾	試料数	機械 ²⁾
朝日	2198指標林	1971	44	12	B
定山溪	2180ろ	1973	42	12	R
定山溪	2164ほ	1976	40	12	
定山溪	2158と	1977	38	12	
定山溪	2161は	1978	38	8	
浮島	2072は	1979	37	12	
上士別	2333つ	1981	34	12	
歌登	3195お	1983	32	8	
定山溪	2154は	1983	32	12	
旭川	145ろ	1984	32	8	
増毛	65ち	1984	31	8	
古平	3307ろ	1985	31	8	
朱鞠内	387わ	1985	30	12	
赤井川	3048と	1986	30	8	
士別	2394な	1987	28	8	
苫前	2134そ	1987	30	8	
小平	1177に	1989	28	2	
留萌	123と	1992	25	8	
幌加内	49ほ	1992	23	8	
増毛	33へ	1996	21	4	R

¹⁾ 採取時における処理からの経過年数, ²⁾ B, 排土板装着ブルドーザ; R, レーキドーザ 機械確定分のみ

表-2 一般化混合線形モデル (GLMM) の結果

項	推定値	p値 (Prob> t)
切片	1.067	< 0.0001
処理 (有)	0.073	< 0.0001
時間	-0.0166	0.0179
処理 (有) × (時間-32.458)	-0.0053	0.0009