

論文

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バの更新状況

滝川寛之*・松井理生**・中川雄治***・後藤晋*

Regeneration of *Betula maximowicziana* more than 20 years after soil scarification at low-elevation zones in the University of Tokyo Hokkaido Forest

Hiroyuki TAKIGAWA*, Masaki MATSUI**, Yuji NAKAGAWA***, Susumu GOTO*

1. はじめに

ウダイカンバ (*Betula maximowicziana*) は日本の本州中部の山岳地帯, 東北～北海道にかけて分布するカバノキ科の落葉広葉樹である。ウダイカンバは有用広葉樹であるため (岡村・後藤, 2004), 次世代を育成し持続的に資源を活用することが求められる。ウダイカンバは山火事や風害等, 大規模かく乱があった場所で一斉に更新する (津田ら, 2002; UCHIYAMA *et al.*, 2006)。一方で, 種子は光要求性が高いため, 閉鎖林冠下ではめったに天然更新しない。また, ウダイカンバは人工造林しても, ネズミ, ウサギ, シカ等による獣害のためにほとんど成功しない (渡邊, 1989)。したがって, ウダイカンバの次世代を林内に育成させるには, 人為的な更新補助作業が必要だと考えられる。シカによる食害などの影響で林床植生が極めて乏しいところでは, 皆伐によって光環境が改善され, ウダイカンバの更新が促進される場合もある (菊地ら, 2009)。しかし, 林床をササ類が厚く覆っている北海道では, ササ類が繁茂すると樹木の実生や稚樹の密度が大幅に減少する (NOGUCHI and YOSHIDA, 2004)。ササ類は根茎から速やかに栄養成長するため, 単に皆伐しただけでは, 樹木種の更新につながらないことが多い (YOSHIDA *et al.*, 2005)。そこで北海道では, 1970 年代からブルドーザーなどの重機でササ類の根茎を含む地表植生や A₀ 層をはぎ取って鉞質土壌を露出させ, 周辺から飛来した種子により天然下種更新をはかる, 地がきという方法が事業的に用いられている (青柳, 1983; 藤原ら, 1984; 梅木, 2003)。一般に, 地がきを行うと光環境が改善されるため, 樹木種の実生の発芽が促進され, A₀ 層やササが無いことで実生が定着しやすくなることが知られている (石塚ら, 1985; 後藤・津田, 2007; 渡邊, 2008)。

地がきがウダイカンバの更新補助に及ぼす効果については, いくつかの先行研究がある。例えば北海道中央部の天然林では, 地がき地にウダイカンバが高密度で更新していることが報告されている (Goto *et al.*, 2004; Goto *et al.*, 2010)。また, 同じ地域の山火事跡に成立した二次林の地がき地においても, ウダイカンバの実生が多く発生している (後藤・津田, 2007)。杉田ら (2008)

* 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林教育研究センター
Education and Research Center, The University of Tokyo Forests, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

** 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所
Ecohydrology Research Institute, The University of Tokyo Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

*** 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林
The University of Tokyo Hokkaido Forest, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

は、岩手県のカラマツ人工林の伐採跡地で伐採時に地表攪乱が起こったところで、ウダイカンバが地表攪乱がないところに比べて有意に多く発生したとしている。さらに、植林のための地ごしえを行ったカラマツ植林地やトドマツ植林地にウダイカンバが侵入・更新しており（千葉, 1979; 秋保, 1985; 三好, 1991）、人為的な作業による地表攪乱がウダイカンバの実生や稚樹の発生を促すという報告は少なくない。

しかし、地がきから2～10年間の初期段階におけるウダイカンバの実生や稚樹の発生および消失についての報告は多いが（畑野・高橋, 1992; Goto *et al.*, 2004; 後藤・津田, 2007）、地が

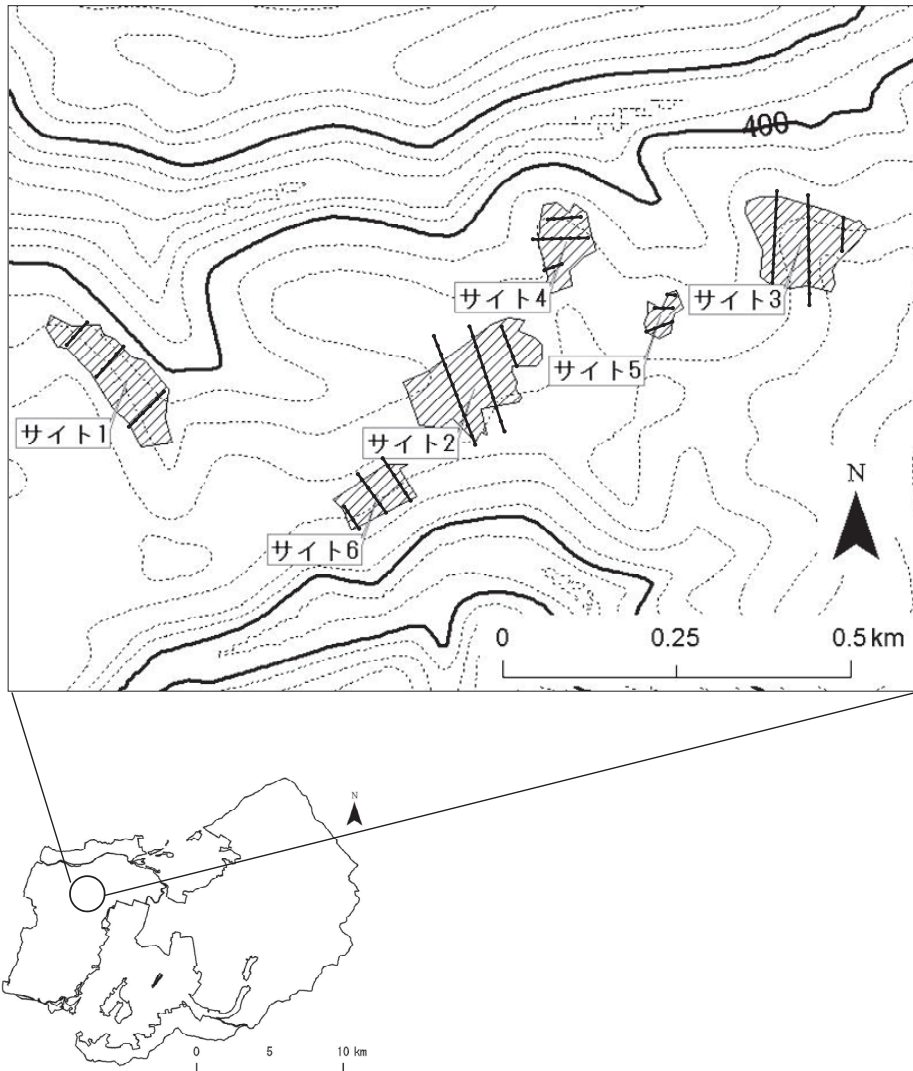


図-1 北海道演習林における地がき地の位置

Fig.1. Location of the study sites in the University of Tokyo Hokkaido Forest

上の図が本研究で対象とした地がき地の場所を示す。太い曲線が100m、点線が10mごとの等高線を示す。サイト内の太い3本の直線は、ラインを表す。

表-1 調査サイトの概要
Table 1. Description of study sites

サイト	地がき年	地がき地 面積 (ha)	標高 (m)	傾斜 角度	斜面 方位	母樹 本数	プロット 数	試験地 番号
サイト 1	1981	1.16	406 ~ 423	19.2°	北東	5	15	5512
サイト 2	1981	1.80	424 ~ 433	4.1°	北西	8	28	5511
サイト 3	1981	1.30	427 ~ 439	11.2°	南西	7	26	5510
サイト 4	1988	0.60	420 ~ 424	5.6°	南西	3	15	-
サイト 5	1988	0.17	423 ~ 426	4.2°	北	1	9	-
サイト 6	1989	0.48	428 ~ 431	4.4°	南西	9	16	-

標高はプロットの最低標高から最高標高、傾斜角度は各サイト内における全プロットの平均値を示す。母樹本数はサイト内とサイトの周囲 100m 以内のウダイカンバ母樹の本数を表す。

き後 20 年以上経過した林分についての調査報告は少ない (梅木, 2003; Goto *et al.*, 2010)。ブナの皆伐母樹保残法による天然林施業では、地がき後初期にブナが多数発生し更新が成功したと思われた試験地において、時間が経過するにつれて他の成長の早い樹種との競争により被圧され、更新がうまくいかなかった例が報告されている (正木ら, 2003)。したがって、地がきによってウダイカンバ林が成立するかを評価するためには、地がきから数十年が経過した場所において、ウダイカンバがどの程度更新しているかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、北海道中央部の低標高域の天然林を対象に、設定から 20 年以上が経過した地がき地においてウダイカンバをはじめとする高木種の更新状況を調査した。

2. 方法

調査地

調査は北海道富良野市に位置する東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林 (以下、北海道演習林) の 33 林班で行った。この林班では標高 400 ~ 500m の天然林において、21 ~ 29 年前に 6 ケ所で地がきが行われている (図-1, 表-1)。いずれの地がき地でも、周囲にウダイカンバの成木を残すように地がきが行われた。本稿ではこれらの地がき地を地がきを実施した年順にサイト 1 ~ 6 と呼ぶことにする。サイト 1 ~ 3 は 1981 年、サイト 4 と 5 は 1988 年、サイト 6 は 1989 年に地がきが行われた。なお、サイト 1, 2, 3 は、北海道演習林の天然更新試験地 (5512, 5511, 5510) としてそれぞれ位置づけられている (農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林, 2007)。サイト 4 と 5 は北海道演習林の試験地として設定されていないが、ウダイカンバ優良大径木を残して周囲を皆伐し、その子供が更新することを狙って地がきが行われた場所であり (小笠原繁男, 私信), 2002 年にマイクロサテライトマーカーを用いて、次世代の遺伝的組成に関する調査が行われている (永藤, 2003; Goto *et al.*, 2004)。

サイト 1 ~ 3 では、レーキドーザーで地表のササ・灌木などを全面または筋状に除去し、次いでブルドーザーで地表の土壌を深さ 15 - 20cm 程剥離して B 層を露出させる地表処理が行われた。地表面の剥離は、ほぼ平坦な試験地 (サイト 2, 3) では平滑に、傾斜のある試験地 (サイト 1) では傾斜に沿って波状形に行われた (畑野・高橋, 1992) とされている。

サイト 4 ~ 6 の地がき方法については、記録が残っていないが、現地の状況と当時を知る元職員からの聞き取りにより、ブルドーザーを用いて平滑に行われたものと推察された。

更新実態調査

更新調査は2009年に行った。各サイトをほぼ均等に分割するように50m巻尺とコンパスを用いて、3本のラインを設置した(図-1)。各ラインについて、10mおきにプラスチック製の杭を打ち、杭を中心に半径3mの円形プロット(28.3m²)を設定した。次に、各円形プロット内で樹高1.3m以上の全ての樹木について、樹種名と胸高直径を測定した。さらに、測定した胸高直径から胸高断面積を算出した。

また、更新したウダイカンバの胸高直径と樹高との関係を調べるために、サイト内でウダイカンバの更新が比較的良好な場所に10×10mの方形区を2つ設置し、方形区内に存在する胸高以上のウダイカンバについて、胸高直径と樹高を測定した。胸高は測高桿を用いて測定した。

次に、方形区の調査結果から、胸高直径と樹高の関係式を累乗近似により求めた。この際、各サイトの2つの方形区は区別せずにまとめて扱った。次に、この近似式を適用し、各円形プロット内のウダイカンバ全個体の樹高を胸高直径から推定した。胸高直径と推定した樹高から各個体の材積の指標としてD²Hを求めた。なお、Dは胸高直径、Hは樹高を表す。

本研究では、樹高が1.3m以上、胸高直径30cm未満の個体を更新木として取り扱った。

更新状況解析

プロットの位置座標をGPS受信機(ガーミン社製GPSMAP 60CSx)で取得した。GPSで取得した位置データをもとに、以下の立地環境要因をプロットごとに求めた。

傾斜角度

プロットの座標と10m-DEM(Digital Elevation Map)を用いてGIS(Geographic Information System; ArcGIS Desktop9.3.1)により傾斜角度を抽出した。

斜面方位

プロットの座標と10m-DEMを用いて、GISにより斜面方位を抽出した。斜面方位は真北を0°とし時計回りに359.9°までの値をとっていたため、0(真北)~1(真南)になるように変換し、南向き度合いという指標にした。変換式は南向き度合い=sin(斜面方位/2)である。

サイト面積

北海道演習林が作成した施業区域図(2004年)に基づき、GISにより各サイトの面積を計算した。

ウダイカンバの更新密度に影響を与える要因を抽出するため、一般化線形混合モデルによる統計解析を行った。各円形プロット内のウダイカンバ更新本数を目的変数に、傾斜角度、南向き度合い、サイト面積、地がき後経過年、ウダイカンバ以外の5つの主要更新樹種(トドマツ、ダケカンバ、シラカンバ、ホオノキ、ハリギリ)のプロット内の更新本数を説明変数の固定効果、サイトを説明変数のランダム効果とした。誤差分布はポアソン分布に従うとし、連結関数はlogを用いた。データセットのサンプル数は109である。本研究では、最初にすべての説明変数を

表-2 各サイトの樹種別にみた更新木の本数密度
Table 2. Density of regenerated tree species per hectare in each site

種名	サイト1	サイト2	サイト3	サイト4	サイト5	サイト6	合計割合 (%)
ウダイカンバ	<u>683.8</u>	<u>593.7</u>	<u>625.7</u>	<u>495.1</u>	<u>1964.9</u>	<u>729.5</u>	31.0
トドマツ	<u>377.3</u>	<u>669.5</u>	<u>707.4</u>	<u>188.6</u>	<u>1021.7</u>	44.2	18.3
ホオノキ	70.7	25.3	<u>136.0</u>	<u>141.5</u>	<u>393.0</u>	<u>618.9</u>	8.4
ハリギリ	<u>306.5</u>	<u>378.9</u>	<u>244.9</u>		39.3	<u>88.4</u>	6.4
シラカンバ				<u>683.8</u>	78.6	<u>110.5</u>	5.3
ダケカンバ		<u>404.2</u>	108.8	<u>117.9</u>	39.3		4.1
キタコブシ	23.6	25.3		47.2	<u>393.0</u>	<u>88.4</u>	3.5
エゾイタヤ	<u>235.8</u>	63.2	54.4	70.7	78.6	22.1	3.2
ミズナラ	117.9	37.9	81.6	<u>117.9</u>	78.6	66.3	3.0
シナノキ	70.7	<u>164.2</u>	40.8	23.6	<u>117.9</u>		2.5
タラノキ	23.6		13.6		<u>117.9</u>	<u>176.8</u>	2.0
ベニイタヤ	47.2	12.6	<u>204.0</u>			22.1	1.7
アズキナシ	<u>165.0</u>	37.9				66.3	1.6
バッコヤナギ	94.3	126.3	13.6			22.1	1.6
エゾマツ		12.6	95.2	23.6	39.3		1.0
ノリウツギ		88.4	13.6			44.2	0.9
オオモミジ	23.6	12.6	40.8		39.3	22.1	0.8
カツラ	23.6	12.6	27.2		39.3	22.1	0.8
オヒョウ	47.2	25.3	13.6				0.5
ナナカマド		12.6	27.2			22.1	0.4
ヤチダモ		50.5					0.3
オオカメノキ	23.6	25.3					0.3
シウリザクラ	47.2						0.3
キハダ					39.3		0.2
オオバボダイジュ		25.3	13.6				0.2
オノエヤナギ		37.9					0.2
アカエゾマツ			13.6	23.6			0.2
アサダ			27.2				0.2
イヌエンジュ		12.6	13.6				0.2
ツリバナ				23.6			0.1
カラマツ						22.1	0.1
コシアブラ						22.1	0.1
ミヤマザクラ			13.6				0.1
ハルニレ		12.6					0.1
合計本数	2381	2867	2530	1957	4480	2210	100
調査面積計 (ha)	0.042	0.079	0.074	0.042	0.025	0.045	

サイトごとに出現した更新木の ha 当たり樹種別本数をサイトごとに示す。各サイトの上位 5 種に下線を引いた。

用いたフルモデルを構築し、赤池情報量基準 (AIC) を求めた。次に、順々に説明力の低い説明変数を除いていき、様々な説明変数の組み合わせたモデルを構築し、AIC が最も小さいものをベストモデルとした。これらの統計解析は R ver. 3.02 を用いた (R CORE TEAM, 2013)。

結 果

各サイトの更新状況

全サイトをまとめると、今回の円形プロットの調査で出現した更新木は合計 36 種で、どのサイトでも 12 種以上の樹木種が更新していた。一番多かったのはサイト 2 の 24 種、一番少なかったのはサイト 4 で 12 種であった (表-2)。ha 当たりの更新木の本数は、サイト 5 の 4,480 本が最大で、サイト 4 の 1,957 本が最小であった。更新木の胸高断面積合計ではサイト 2 が ha

表-3 各サイトの樹種別にみた更新木の胸高断面積合計

Table 3. Total basal area per hectare for each regenerated tree species in each site

種名	サイト1	サイト2	サイト3	サイト4	サイト5	サイト6	合計割合 (%)
ウダイカンバ	<u>6.55</u>	<u>5.17</u>	<u>5.18</u>	<u>2.94</u>	<u>5.75</u>	<u>2.65</u>	58.5
トドマツ	<u>0.79</u>	<u>0.90</u>	<u>1.39</u>	0.11	<u>0.45</u>	+	7.5
ホオノキ	+	0.26	<u>0.74</u>	<u>0.27</u>	<u>0.90</u>	<u>0.75</u>	6.1
バッコヤナギ	<u>0.62</u>	<u>1.07</u>	0.25			<u>0.26</u>	4.6
シラカンバ				<u>1.71</u>	+	<u>0.48</u>	4.6
シナノキ	<u>0.60</u>	0.66	0.17	+	0.15		3.3
ダケカンバ		<u>0.82</u>	0.20	<u>0.22</u>	0.06		2.7
オオバボダイジュ		<u>1.03</u>	+				2.2
ミズナラ	0.13	0.11	0.07	<u>0.62</u>	+	0.03	2.0
ハリギリ	0.11	0.25	<u>0.29</u>		+	0.07	1.5
キタコブシ	+	+		+	<u>0.44</u>	0.03	1.0
オノエヤナギ		0.38					0.8
エゾマツ		+	<u>0.30</u>	+	+		0.6
タラノキ	+		0.01		<u>0.20</u>	0.05	0.5
ベニイタヤ	0.03	0.01	0.21			+	0.5
エゾイタヤ	0.16	0.06	0.02	+	+	+	0.5
ナナカマド		+	0.13			<u>0.09</u>	0.5
シウリザクラ	<u>0.23</u>						0.5
オヒョウ	0.09	0.11	0.02				0.5
アズキナシ	0.10	0.03				0.05	0.4
カツラ	+	0.12	0.05		+	+	0.4
ノリウツギ		0.09	0.02			0.02	0.3
ヤチダモ		0.13					0.3
ミヤマザクラ			0.06				0.1
アサダ			0.05				0.1
イヌエンジュ		+	0.04				0.1
オオカメノキ	+	0.02					0.1
ハルニレ		+					+
オオモミジ	+	+	+		+	+	+
アカエゾマツ			+	+			+
キハダ					+		+
カラマツ						+	+
ツリバナ				+			+
コシアブラ						+	+
サイト合計	9.4	11.3	9.2	5.9	8.0	4.5	100.0

サイトごとに出現した更新木の樹種別胸高断面積合計の ha 当たりの値 (m²) を示す。+ は 0.01 (m²) 未満を表す。各サイトの上位 5 種に下線を引いた。

当たり 11.3m² と最も多く、サイト 6 が 4.5m² と最も少なかった。ha 当たりの本数が多い順に、ウダイカンバ、トドマツ、ホオノキ、ハリギリ、シラカンバとなった (表-2)。このうち、上位 3 種が更新木の全本数の 50% 以上を占めていた。ha 当たりの胸高断面積合計でみると、ウダイカンバ、トドマツ、ホオノキ、バッコヤナギ、シラカンバが上位 5 種であった。ウダイカンバは全胸高断面積合計の 58.5% を占めており、2 番目に優占していたトドマツの 7.5% を大きく上回っていた (表-3)。本数・胸高断面積ともに上位 3 位はウダイカンバ、トドマツ、ホオノキであった。

ウダイカンバの直径階分布

ウダイカンバとその他樹種の直径階分布を比較すると、ウダイカンバは更新木の中で大きいサイズクラスを占めており、4cm 以下の小さな個体はほとんど認められなかった。ウダイカンバ以外も含めた全樹種では、L 字型の分布をしていた (図-2)。

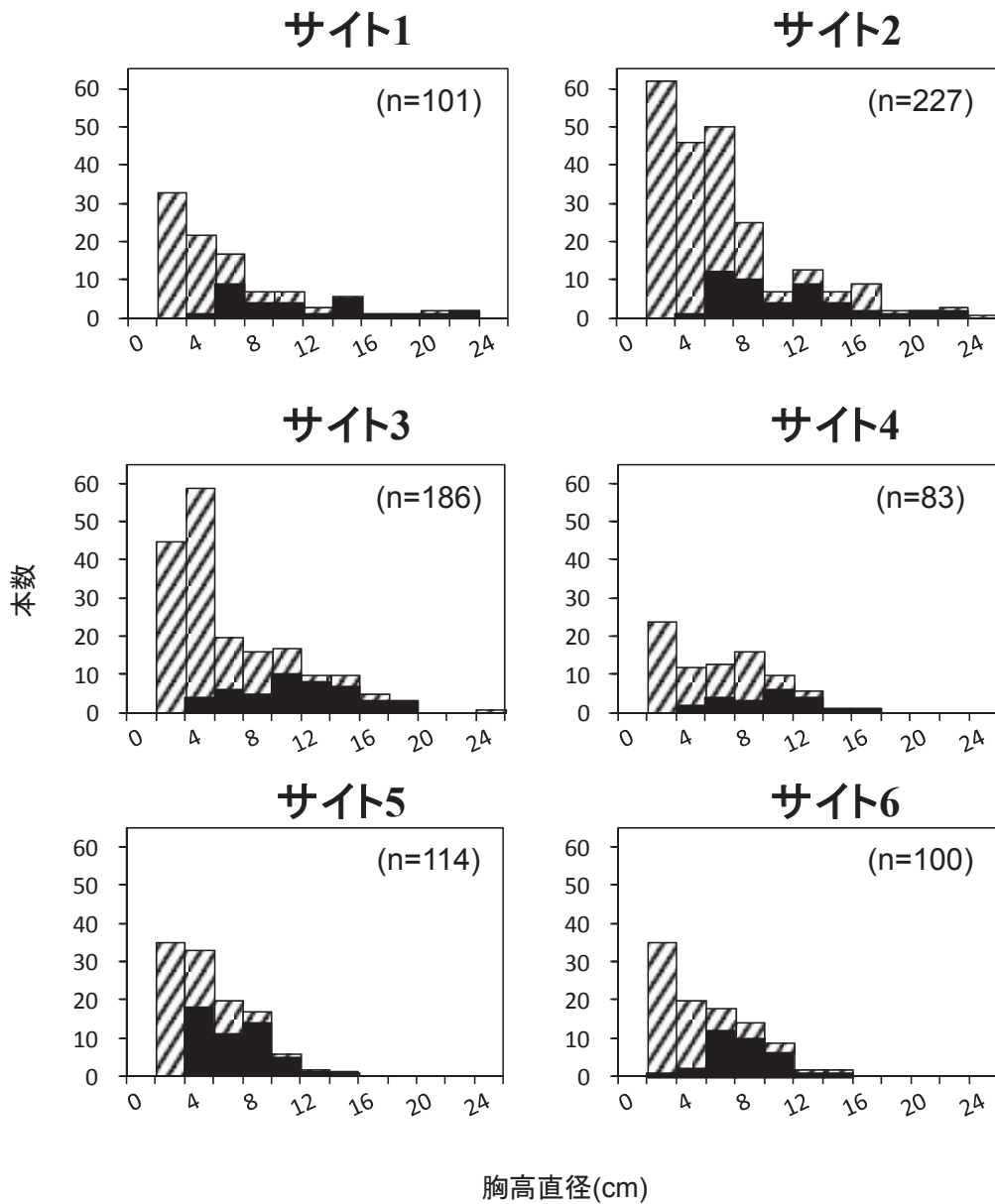


図-2 サイトごとにみたウダイカンバとウダイカンバ以外の更新木の直径階分布
 Fig.2. Distribution of diameter at breast height (DBH) for regenerated *Betula maximowicziana* and other trees for each site

胸高直径2cm階級ごとに全更新木の本数をヒストグラムで示した。棒は黒塗部がウダイカンバ、斜線部がその他樹種の更新木を示す。図中のnの値は全更新木の本数を表す。

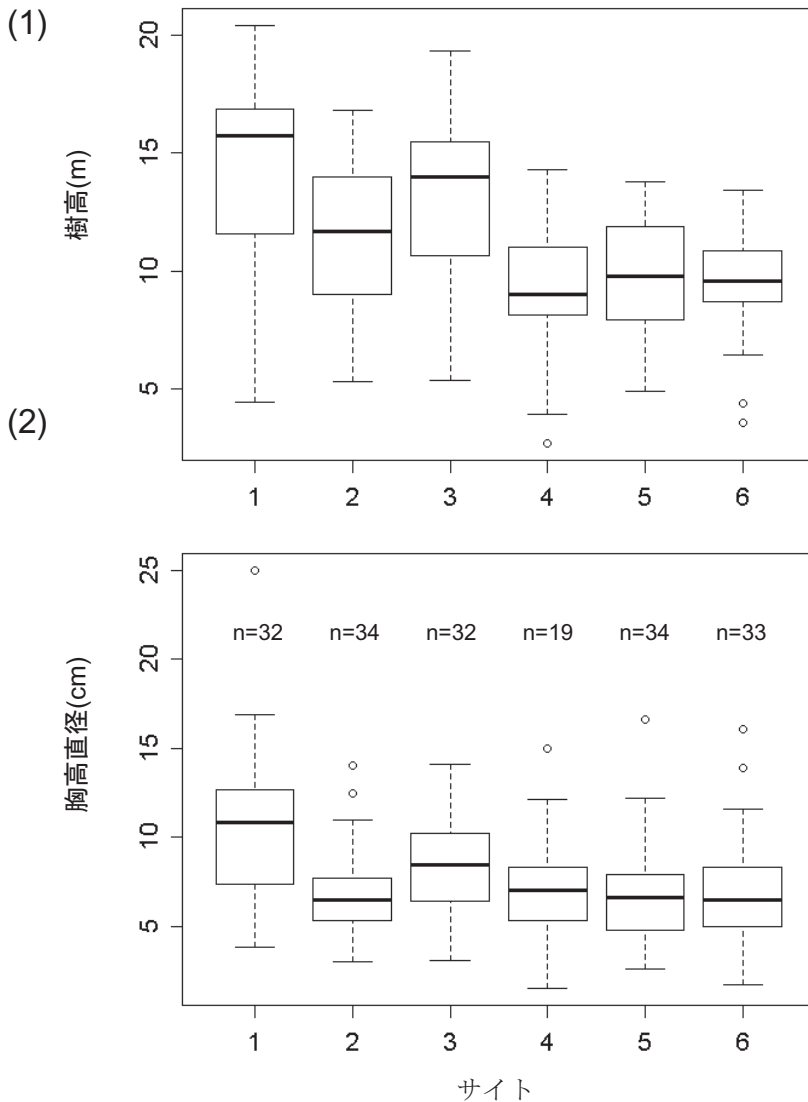


図-3 方形区内におけるウダイカンバ更新木の樹高と胸高直径の分布

Fig.3. Relationship between tree height and diameter at breast height (DBH) of regenerated *Betula maximowicziana* in quadrats

10 × 10m 方形区におけるウダイカンバ更新木の樹高 (1) と胸高直径 (2) を箱髭図で示す。太線が中央値、箱の上下がそれぞれデータの 25%、75% 値、白丸は外れ値を示す。図中の n の値はウダイカンバ更新木の本数を表す。

ウダイカンバの更新状況

各サイトの全方形区の調査結果から得られたウダイカンバ更新木の平均樹高は、9.1m (サイト 4) ~ 14.5m (サイト 1) の範囲で全サイトの平均は 11.3m であった。同様に、平均胸高直径は 6.7cm (サイト 2) ~ 11.0cm (サイト 1) の範囲で全サイトの平均は 7.9cm であった (図-3)。

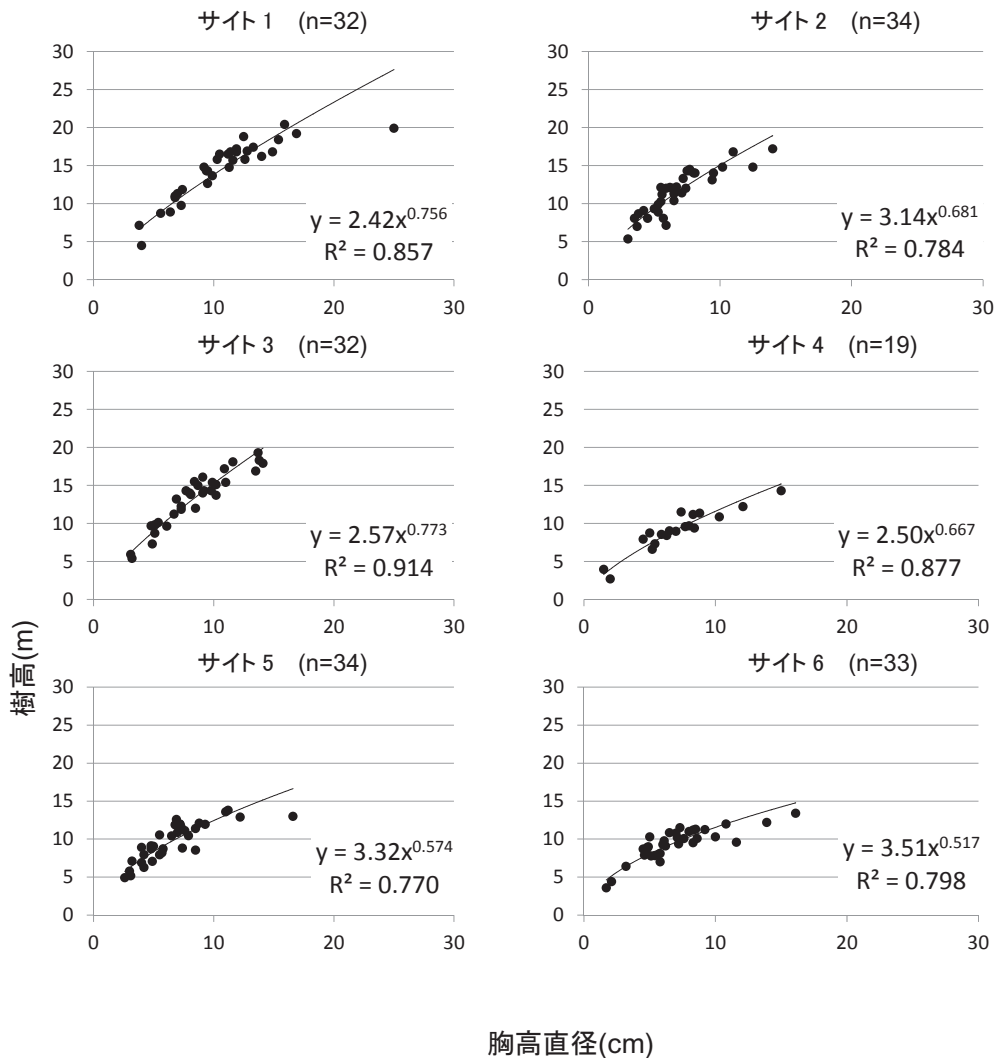


図-4 方形区内ウダイカンバ更新木の胸高直径と樹高の関係

Fig.4. Relationship between diameter at breast height (DBH) and tree height of regenerated *Betula maximowicziana* in quadrat

10 × 10m 方形区におけるウダイカンバ更新木の胸高直径と樹高の関係。曲線は胸高直径と樹高の関係を累積近似したものを表す。図中の n の値はウダイカンバ更新木の本数を表す。

全体として、1981年に地がきしたサイト1～3と1988～9年に地がきしたサイト4～6では平均樹高で3.6m、平均胸高直径で1.8cmの差があった。また、サイト1～3の間ではサイト2が胸高直径と樹高がサイト1、3に比べて低い値を示した。

方形区のウダイカンバの胸高直径と樹高の関係を図-4に示す。R²値はどの方形区においても0.7以上と高い値であった。推定した胸高直径と樹高の関係式を各サイトの円形プロットのウダイカンバに適用し樹高を求め、D²Hにより材積を推定し、サイト内の分布を示した。プロッ

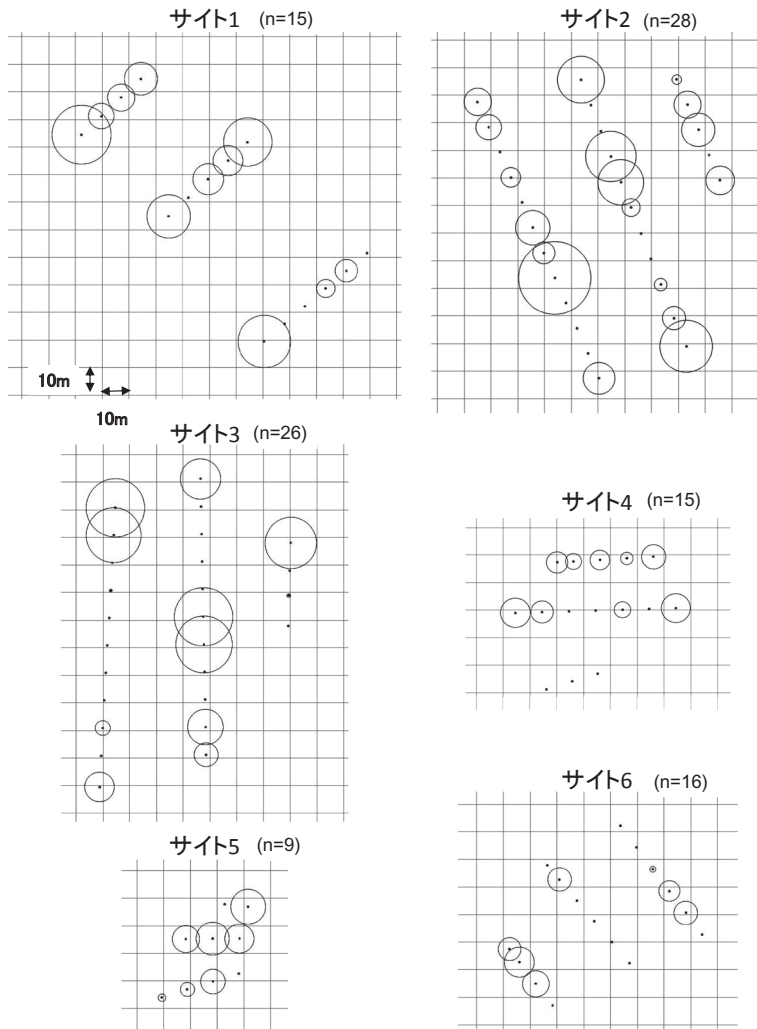


図-5 ウダイカンバ更新木 D^2H の空間分布

Fig.5. Spatial distribution of total D^2H for regenerated *Betula maximowicziana*

プロットごとのウダイカンバ更新木の D^2H をバブル図で示す。バブルの中心がプロットの位置、バブルの大きさが各プロットのウダイカンバ D^2H の合計値と対応している。マス目はそれぞれ $10\text{m} \times 10\text{m}$ である。図中の n の値はプロットの数を表す。

トの位置ごとに D^2H の大きさを見たところ、サイト内においても更新の良好なところがある一方、全く更新していないプロットもあった (図-5)。

ウダイカンバ更新本数に影響する要因

表-4 にフルモデルとベストモデルの結果を示す。ベストモデルでは、傾斜角度、南向き度合い、経過年は選択されず、サイト面積だけが負の影響を示した。また、ウダイカンバ以外の5つの主要更新樹種のうち、シラカンバは負の、トドマツは正の効果を示し、ダケカンバ、ホオノキ、ハリギリは選択されなかった。

表-4 ウダイカンバ更新木の本数に対するプロットの環境要因の影響を分析した一般化線形混合モデルによる解析の結果。

Table 4. Results of generalized linear mixed models for assessing effects of environmental factors on number of trees regenerated of *Betula maximowicziana*

	フルモデル			ベストモデル		
	推定値	標準誤差	P値	推定値	標準誤差	P値
南向き度合い	-0.129	0.294	n.s.	-	-	-
地がき後経過年	0.038	0.080	n.s.	-	-	-
傾斜角度	-0.018	0.022	n.s.	-	-	-
サイト面積	-0.896	0.452	*	-0.720	0.120	***
シラカンバ本数	-0.715	0.223	**	-0.691	0.215	**
ダケカンバ本数	0.091	0.071	n.s.	-	-	-
トドマツ本数	0.128	0.028	***	0.153	0.021	***
ハリギリ本数	0.005	0.062	n.s.	-	-	-
ホオノキ本数	0.072	0.077	n.s.	-	-	-
AIC		313.1			305.4	

モデルの検定結果を示す。一番左の列が説明変数を示し、順にそれぞれのモデルにおける推定係数、係数の標準誤差、P値を示す。フルモデルはすべての説明変数を使用した際の結果を、ベストモデルはAICの値が最も小さかったモデルの結果を表している。

P値：*** $P < 0.001$ 、** $P < 0.01$ 、* $P < 0.05$ 、n.s. not significantを表す。

考 察

本研究では地がきから20年以上経過している全ての地がき地で、ウダイカンバが本数、胸高断面積ともに優占していた。同じ林班の択伐や林分や補植林分に設定された固定標準地(50×50m)における2004年の調査において、最近更新したと考えられる樹高1.3m以上、胸高直径4cm以下のウダイカンバが生育していたのは12ヶ所のうち3ヶ所のみであった。そして、その3ヶ所はいずれも林道もしくは地がき地に隣接していた。そのため、ウダイカンバは通常の択伐林内ではほとんど更新しないことが示唆される。したがって、本研究のようにウダイカンバが優占する林分状態になったのは、地がきによる影響が大きいと考えられる。地がきした年が同じサイト1～3においてサイト2のみ更新個体が小さかったのは、サイト1と3に比べて、サイト2ではトドマツやダケカンバなどの他の樹種の本数や胸高断面積が大きかったことが原因だと考えられる(表-2, 3)。すなわち、樹種間の競争によりウダイカンバの成長が阻害されたのではないかと考えられた。

斜面方位や傾斜角度といった大きな周辺環境が似ているサイト内においても、ウダイカンバの更新には円形プロット間で大きな差がみられた(図-5)。しかし、傾斜、南向き度合といった地形指標は今回のベストモデルでは採用されなかった。先行研究においては、地がき地の面積は更新機会や日射量、土壤水分量に関係することや(RESCO DE DIOS *et al.*, 2005; 後藤・津田, 2007)、地がきの際の残存木は周囲の日射量、土壤水分量、地温に影響を与え、実生の更新量に差が生じることが報告されている(小山・矢島, 1989; 大住, 2002; 宮・小鹿, 2004; YOSHIDA *et al.*, 2005; RESCO DE DIOS *et al.*, 2005; 後藤・津田, 2007)。したがって、これらのサイト内プロット間のばらつきを説明するためには、YOSHIDA *et al.*, (2005)が行ったように、土壤の硬度、水分含水率、開空度、土壤の栄養条件、リター量、積雪深などを円形プロットごとに調べるといった、詳細な調査が必要だと考えられた。

今回の解析の結果、サイト面積がウダイカンバの更新本数に負の影響を与えていた(表-4)。理由として、サイトが大きいと乾燥や強光阻害により実生が死亡しやすくなり(後藤・津田, 2007; YOSHIDA *et al.*, 2005)、結果として更新量が少なくなったことが考えられる。ただ、今回の調査では早期に地がきしたサイト(1~3)は面積が大きく、後に地がきをしたサイト(4~6)は面積が小さいため、面積と経過年の効果を分離できないという問題が挙げられる。サイト面積をあらかじめ除いたモデルにおいてAIC選択を行うと、サイト面積の代わりに地がき後経過年が負の効果として選択された。これは地がき後年数が経過すれば、自己間引きや種間競争などによって枯死する個体が増えるためだと考えられる。

他種が及ぼす影響に注目すると、シラカンバが負の影響を及ぼしていた。シラカンバとウダイカンバは同じ先駆種であり、似たニッチを占めると考えられる。種間競争ではシラカンバがウダイカンバに対して優勢であるという報告もあり(渡邊, 1988)、競争効果によりウダイカンバに負の効果を与えていたと考えられる。トドマツが正の影響を及ぼしていたことは、地がき後のトドマツの植栽地にウダイカンバが更新することがいくつか報告されていることに合致する(石塚ら, 1985; 秋保, 1985)。トドマツ、ミズナラ、ウダイカンバを混植した試験では、ウダイカンバが上層、ミズナラが中層、トドマツが下層に生育することが実験的に確かめられており(森山・渡邊, 2003)、トドマツの更新適地がウダイカンバの更新適地と一致し、かつ、2種が共存できたのではないかと考えられた。

ウダイカンバには胸高直径が4cm以下の更新木がほとんどなかったことから、近年、発生、定着した個体はなかったことが推察される。これは地がき初期にはたくさんの実生が発生したが、一定期間が経過するとその後の発生・定着がないことを示唆する。渡邊(1989)が指摘しているように、時間の経過とともに更新木が成長したり、ササが繁茂することで林床に光が届かなくなったために、ウダイカンバの更新できる期間は地がきをしてから数年間に限られている可能性がある。一方、その他樹種も含めた直径階分布に注目すると、どのサイトでもL字型の分布をしていたことから、樹種によっては地がき後実生あるいは萌芽から、一部の個体が大きくなったと考えられる。

サイト1~5では、過去にウダイカンバの更新調査が行われている。2005年における樹高50cm以上の樹木種を対象にしたプロット調査では、サイト1では更新密度593本/ha、最大樹高18m、サイト2では872本/ha、最大樹高20m、サイト3では2,200本/ha、最大樹高22mとされている(Goro *et al.*, 2010)。2002年に行ったサイト4と5の調査では、サイト4のウダイカンバは更新密度15,000本/ha、最大樹高7m、サイト5では更新密度12,000本/ha、最大樹高8mとされている(永藤, 2003)。すなわち、サイト1-3では地がきから24年、サイト4と5は16年が経過した時点でウダイカンバの十分な量の更新があり、更新木もよく成長していたとみることができる。2002年の調査においてウダイカンバ更新木に食害が報告されており、サイト4では9割近く、サイト5では4割の個体にウサギやシカ、ネズミによる被害がみられたとしている(永藤, 2003)。しかし、今回の調査では、多くの更新木が胸高以上に到達しており、食害の跡は見当たらなかった。ウダイカンバは食害に弱いことが報告されているが(渡邊, 1989)、ある程度の小さいサイズの個体であれば、食害を受けたとしても回復するとされている(畑野・高橋, 1992)。これらのサイトでも、小さいサイズの個体であったために、回復して成長したのではないかと考えられた。ただし、近年エゾシカの密度が増加しているため、食害への対策が必要になる可能性がある。

胸高以上の個体を対象とした今回の調査では、ウダイカンバの更新密度はサイト 1 が 684 本/ha、サイト 2 が 594 本/ha、サイト 3 が 626 本/ha、サイト 4 が 495 本/ha、サイト 5 が 1965 本/ha となった(表-2)。地がきから 20 年以上が経過しても、ウダイカンバは更新木の中で密度、蓄積ともに優占していた。特に地がきからの経過年数の多いサイト 1~3 では、山火事後の二次林に似たウダイカンバ林と呼べるような林相を呈していた。

正木ら(2003)はブナの地がきによる更新補助作業では初期に更新成功したようにみえても、時間が経過するとホオノキなどの成長の旺盛な広葉樹に被圧されることがあると指摘している。しかし、本研究で現在定着しているウダイカンバ更新木については、樹冠が林内の上層部に位置しているため、今後も他種に被圧されることなく成長し、ウダイカンバ林としての外観を保ったまま、樹冠を占めていくのではないかと考えられた。

一般に成長に伴って各個体が利用できる資源(空間)量が減っていくと、種内競争が大きくなっていくことが知られている。ウダイカンバの場合、強い個体間競争による自己間引きが発生し、結果的に中度間伐(本数割合 30%)したときと同じくらいの本数密度になることが知られている(高橋ら, 1999)。この場合、意図的に間伐したときに比べると各個体の成長が劣るため(犬飼ら, 1995)、地がき時に発生したウダイカンバ更新木をより成長させるためには、密度調整のための間伐を行うなど、これからの密度管理が重要になると考えられる。

まとめ

今回の調査では、地がきによる更新補助の結果、長期間経過した林分でもウダイカンバが更新、生育しており、他種の更新木に比べて、大きなサイズとなっていることが明らかとなった。しかし更新量はサイト内でも大きくばらついており、地がき面積や残存木に考慮して、より効果的な地がき方法を検討する余地がある。今後はウダイカンバの本数密度と胸高直径を引き続きモニタリングしながら必要に応じて適切な間伐を行い、サイズと本数密度のバランスを取っていく必要がある。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、北海道演習林の職員の方に大変お世話になった。岡田桃子、廣嶋卓也の各氏には GIS についてご教示いただき、解析の効率を上げることができた。石塚航、浅野友子、鈴木牧の各氏には、有益な助言をいただいた。本研究は多くの方の協力なくして成り立たなかったことをここに記すとともに、改めて感謝の意を表明し、謝辞と代えさせていただく。

要 旨

北海道中央部の 20 年以上前に地がきを行った低標高域 6 ヶ所の試験地においてウダイカンバの更新状況を調べた。各試験地に 3 本のラインを設定し、ライン上の 10m おきに半径 3m の円形プロットを設置した。各プロット内の樹高 1.3m 以上の樹木について樹種名と胸高直径を測定した。また、各試験地に 10 × 10m の方形区を 2 つずつ設置し、ウダイカンバの樹高と胸高直径を測定し、試験地ごとの胸高直径と樹高の関係を指数近似で求めた。得られた推定式を用いて、プロットごとにウダイカンバ更新木の胸高直径から樹高を推定し、材積の指標として D^2H を求

めた。円形プロットの調査では、合計 36 種の樹木が出現し、試験地ごとの本数密度は 1957 ~ 4480 本/ha であった。一般化線形混合モデルによる解析を行ったところ、ウダイカンバの更新に対してシラカンバが負に、トドマツが正に影響を与えていた。ウダイカンバは本数、胸高直径、樹高ともに他の樹種よりも大きく、今後、更新林分の樹冠を占めていくと考えられた。したがって、地がきは低標高域のウダイカンバの更新に有効だと考えられた。

キーワード：ウダイカンバ，更新，地がき，D²H，一般化線形混合モデル

引用文献

- 秋保晃治 (1985) ブルドーザー地拵え造林地におけるウダイカンバの成長について. 北方林業 37 : 112-114.
- 青柳正英 (1983) 道有林の「かき起こし」の実態. 北方林業 35 : 49-53.
- 千葉信幸 (1979) 人工林に発生したウダイカンバの推移について. 北方林業 31 : 39-42.
- 藤原登・柴田前・上飯坂実 (1984) トラクタによるエゾマツおよびトドマツの天然下種更新のための地拵作業. 日林誌 66 : 117-122.
- 後藤晋・津田智 (2007) ウダイカンバ二次林資源保続に向けた地はぎ処理の試み. 日林誌 89 : 138-143.
- GOTO, S., TSUDA, Y., NAGAFUJI, K., UCHIYAMA, K., TAKAHASHI, Y., TANGE, T., and IDE, Y. (2004) Genetic make-up and diversity of regenerated *Betula maximowicziana* Regel. sapling populations in scarified patches as revealed by microsatellite analysis. *For. Eco. Manage.* 203 : 273-282.
- GOTO, S., IJIMA, H., and KIMURA, N. (2010) Long-term effects on tree regeneration of soil scarification with microtopography manipulation in mixed forests of central Hokkaido, northern Japan. *J. For. Res.* 15: 328-336.
- 畑野健一・高橋康夫 (1992) カンバ類における天然下種更新の実態. バイオマス変換計画研究報告 34 : 55-59.
- 犬飼浩・高田功一・伊藤務・河原漢 (1995) ウダイカンバ二次林の立木密度と成長について. 平成 6 年度技術官等試験研究・研修会議報告 : 31-42.
- 石塚森吉・佐藤明・菅原セツ子 (1985) 筋刈造林地に更新したウダイカンバの立地と成長. 日林北支論 34 : 98-100.
- 菊地陽太・梶幹男・澤田晴雄・谷本丈夫・逢沢峰昭・大久保達弘 (2009) 秩父山地における林冠の攪乱規模の異なるイヌブナ天然林の 20 年間の再生過程. 森林立地 51 : 39-48.
- 小山浩正・矢島崇 (1989) かき起こし地における侵入樹種の分布様式と階層構造の推移. 日林北支論 37 : 55-57.
- 農学生命科学研究科附属演習林北海道演習林 (2007) 北海道演習林第 12 期試験研究計画 (自平成 18 年度至平成 27 年度). 演習林 46 : 215-350
- 正木隆・杉田久志・金指達郎・長池卓男・太田敬之・櫃間岳・酒井暁子・新井伸昌・市栄智明・上迫正人・神林友広・畑田彩・松井淳・沢田信一・中静透 (2003) 東北地方のブナ林天然更新施業地の現状—二つの事例と生態プロセス—. 日林誌 85 : 259-264.
- 宮久史・小鹿勝利 (2004) 林内かき起こし地における更新樹種の分布特性. 北海道大学演習林研究報告 61 : 1-10.
- 三好英勝 (1991) ウダイカンバ更新林分の施業方法. 北方林業 43 : 327-330.
- 森山輝久・渡邊 定元 (2003) ウダイカンバ, ミズナラ, トドマツ, 3 種混植同齢複層林の林分構造. 日林学術講 114 : 63
- 永藤杏子 (2003) ウダイカンバ優良母樹の遺伝子保存における地はぎの効果. 東京大学農学部応用生命科学課程森林科学専修卒業論文.
- NOGUCHI, M., YOSHIDA, T. (2004) Tree regeneration in partially cut conifer-hardwood mixed forests in northern Japan: roles of establishment substrate and dwarf bamboo. *For. Eco. Manage.* 190 : 335-344.
- 岡村行治・後藤晋 (2004) 旭川銘木市における主要 6 種の素材丸太の評価と市場価格. 日林北支論 52 : 171-173.
- 大住克博 (2002) 人為攪乱が卓越する環境におけるウダイカンバ個体群の維持に関する研究. 京都大学農学部博士論文, 87pp.

- 高橋範和・佐藤烈・宅間隆二・福土憲司・岡平卓巳・高橋康夫・井口和信・犬飼雅子・高田功一（1999）ウダイカンバ人工造林地の間伐資料. 平成11年度技術官等試験研究・研修会議報告：72-79.
- R CORE TEAM (2013) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- 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. Eco. Manage.* 215 : 138-148.
- 杉田久志・猪内次郎・昆健児・岩根好伸・田口春孝・大石康彦（2008）強度間伐および重機による地表攪乱を行ったカラマツ人工林におけるウダイカンバの更新と成長. *東北森林科学会誌* 13 : 8-15.
- 津田智・後藤晋・高橋康夫・笠原久臣・澤田佳宏・安島美穂（2002）北海道中央部の針広混交林における山火事から87年が経過した森林群落の植生. *植生学会誌* 19: 125-130.
- UCHIYAMA, K., GOTO, S., TSUDA, Y., TAKAHASHI, Y., and IDE, Y. (2006) Genetic diversity and genetic structure of adult and buried seed populations of *Betula maximowicziana* in mixed and post-fire stands. *For. Ecol. Manage.* 237: 119-126.
- 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.
- 渡邊定元（1988）カンバ類の集約的超短伐期栽培法の確立—昭和62年度報告. 農林水産省バイオマス変換計画報告書. 60pp. 東京大学北海道演習林.
- 渡邊定元（1989）ウダイカンバの種特性と育種. *北海道の林木育種* 32: 15-23.
- 渡邊定元（2008）第10章 天然林施業の技術と歴史. (森の芽生えの生態学. 正木隆編, 文一総合出版, 東京) : 213-235.
- 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. (2013年11月15日受付)
(2014年3月19日受理)

Summary

We investigated the regeneration of *Betula maximowicziana* in scarified sites established more than 20 years ago in low-elevation zones in central Hokkaido, Japan. Three transects were established at each site and 3-m radius circular plots were located on each transect at 10-m intervals. We measured the diameter at breast height (DBH) of forest trees >1.3 m tall, and subsequently established two 10-m² quadrats at each site in which we measured DBH and height of all trees. The relationship between DBH and height of *B. maximowicziana* was determined using an exponential equation. The height of *B. maximowicziana* trees that had regenerated within the circular plots was estimated based on the relationship between DBH and tree height. Finally, we calculated D²H [DBH² × height] for each plot. The circular plots contained 36 tree species and the tree density at each site ranged from 1,957 to 4,480 trees/ha. Generalized linear mixed models showed that *Betula platyphylla* had a negative effect on regeneration of *Betula maximowicziana*, whereas *Abies sachalinensis* had a positive effect. *Betula maximowicziana* was superior in number, DBH, and height to other tree species; thus, we suggest that *B. maximowicziana* would be the dominant tree species on scarified sites and would occupy the majority of the canopy. Scarification in low-elevation zones may be an effective method for promoting regeneration of *B. maximowicziana*.

Key words: *Betula maximowicziana*, regeneration, scarification, D²H, generalized linear mixed model