

# 道北地方の蛇紋岩地帯における天然更新技術

山田健四\*

Regeneration technique on the serpentine soil region of northern Hokkaido.

YAMADA, Kenji\*

## 要 旨

北海道北部内陸の豪雪地帯に位置し、林床のササと蛇紋岩土壌が天然更新の阻害要因となっている音威子府村物満内地区において、森林の更新を促進するための基礎的な研究を行った。蛇紋岩地帯におけるかき起こし後の天然更新による初期侵入状況を調査した結果、ダケカンバ、アカエゾマツ等の実生が更新したが、その成長量は非常に小さく、表土に含まれる炭素量と実生の地上部バイオマスに有意な正の相関がみられた。除草剤散布とかき起こしの組み合わせによる天然更新後の林分成長を調査した結果、強度かき起こしを行った調査区では針葉樹の侵入がみられたものの、林分成長は非常に悪かったのに対し、弱度かき起こしや除草剤のみの区では針葉樹の侵入はみられず、林分成長は一般の土壌と同程度かそれ以上であった。プランターを用いて土壌の違いによる樹木の当年生実生の成長を比較した実験では、腐植を含まない蛇紋岩土壌の処理区において、多くの樹種で顕著な成長量の低下がみられた。また、トドマツとアカエゾマツの樹体内のMg量は、同処理区で顕著に大きかった。これらの結果から、北海道北部の蛇紋岩地帯における樹木の天然更新には、土壌の腐植が非常に重要な役割を果たすことが明らかとなった。

キーワード：蛇紋岩土壌，天然更新，かき起こし，土壌腐植，土壌攪乱

## はじめに

北海道北部の内陸地域は、寒冷豪雪の厳しい気象条件下にあり、林床は深い積雪を反映して背の高いチシマザサやクマイザサに覆われている。また、北海道の脊梁山脈沿いには、表層地質に蛇紋岩が出現する地域が点在している(国土庁土地局, 1977)。蛇紋岩は超塩基性岩と呼ばれる特異な化学性を持った岩石で、蛇紋岩を母材とする土壌は化学性、理学的の両面において植物の生育が困難な条件を有している(Brooks, 1987; Proctor, 1971 a, b; Proctor and Woodell, 1971)。これらの条件が重なる地域では、一旦森林が失われると、新たな樹木の更新は著しく困難となる。

道有林美深経営区の音威子府村物満内川流域は、寒冷豪雪と蛇紋岩土壌の条件が重なる更新困難地である。美深道有林管理センター音威子府支署は、このような更新困難地での森林の育成技術を確立するために、固定調査地を設けて長期間の継続調査を行うなど、様々な調査・研究を行ってきた(北海道林務部, 1970; 佐々木, 1985; 石坂, 1985; 山本・嶋田, 1991)。平成7年度に、支署に代わって林業試験場道北支場音威子府駐在所が発足したのにあわせ、これまでの支署の成果を引き継ぎ、更新困難地での森林の育成技術を確立するための研究を行った(山田, 1997; 山田, 1999; 山田・大野, 1998; 山田・佐藤, 1997)。本研究

---

\*北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Hokkaido 079-0198

[北海道立林業試験場研究報告 第38号 平成13年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No. 38. March, 2001]

は、これらを取りまとめたものである。

本研究では、まず蛇紋岩土壌での天然更新補助作業による樹木の侵入や成長について明らかにするために、3つの異なる天然更新補助作業跡地で現地調査を行った。1993年に行われたかき起こし地では、天然更新実生の初期侵入の過程を、1979年に行われた筋状かき起こし跡地では、この施業方法の有効性と問題点、かき起こし強度の影響などを、1969年に行われた除草剤散布とかき起こしの併用によって成立した広葉樹二次林の長期継続調査からは、土壌攪乱強度が林分の樹種構成と成長に与える影響を、それぞれ解析した。

さらに蛇紋岩土壌が樹木の实生に与える影響を把握するために、3種類の土壌に樹木種子を播種して、発生した実生の生育を比較する実験を行った。このうち針葉樹2種については、3年間生育後に、樹体内のマグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)を定量して、Mgが過剰といわれる蛇紋岩が樹木に与える化学的影響を調査した。

最後に、これらの結果を取りまとめ、道北地方の蛇紋岩地帯における、広葉樹二次林、針広混交林、アカエゾマツ純林の3種類の林型を目標としたときの天然更新技術について、提案を行った。

## 調査地の概要

調査地は、中川郡音威子府村内にある道有林美深経営区管内の天塩川支流の物満内川流域で、北緯44°35'~45'、東経142°7'~16'の範囲に位置する(図-1)。この中の、疎なアカエゾマツ天然林を1993年に択伐し、同年にレーキによるかき起こしを行った216林班、1979年にブルドーザによる筋状かき起こしが行われた214林班、1969年に除草剤をヘリコプターにより空中散布した215林班の3地点に、それぞれ調査地を設定した。

気象条件を音威子府における1989~98年のアメダスデータでみると、平均気温は5.7℃、積雪深と降雪量の最大値はそれぞれ159cm、1,246cmであり、最低気温の極値は-33.7℃に達する寒冷豪雪地帯である。調査地周辺の森林は、アカエゾマツ(*Picea glehnii* Masters)を主体にダケカンバ(*Betula ermanii* Cham.)、ナナカマド(*Sorbus commixta* Hedl.)、ケヤマハンノキ(*Alnus hirsuta* Turcz.)、ミズナラ(*Quercus mongolica* var. *grosseserrata* Rehd. et Wils.)などの広葉樹を交えた疎林が大部分を占める(北海道林務部、1970)。林床には、チシマザサ(*Sasa kurilensis* (Rupr.) Makino et Shibata)およびクマイザサ(*Sasa senanensis* (Fr. et Sav.) Rehder)が密生している。土壌は蛇紋岩を母材とし、低温により部分的にグライ化およびポドゾル化の進行がみられるPg型土壌である。

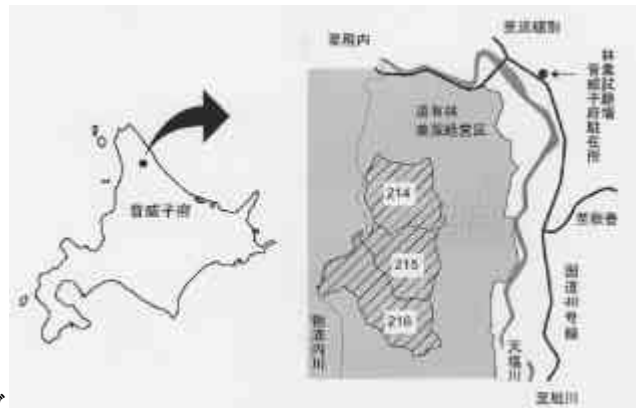


図 - 1 調査地の位置図

## 調査方法

### 1. かき起こし後の初期侵入

1993年に約73haの面積でレーキによるかき起こしが行われた216林班内の、斜面方位の異なる2か所において、斜面の上下方向に5m間隔で配列した1×1mの調査区5個からなる更新調査プロットを1995年に設定した。北向き斜面上のプロットをP1、南西向き斜面上のプロットをP2とし、両プロット内の各調査区には斜面上部から順に1~5の番号を付けた。調査は1995年春から1998年秋にかけて、かき起こし後に各調査区内に更新した高

木種の実生を個体識別し、毎年9月に樹高を測定し、翌春に越冬後の生残を調査した。両プロットには、開口部面積1m<sup>2</sup>のシートトラップを5つずつ設置し、種子散布量を調査した。

また、実生の更新および成長と土壌条件の関係を調べるために、P1付近で実生の生育状況の異なる15地点において、20×20cm、深さ5cmの範囲の表層土壌を採取し、生育する実生の地上部乾燥重量の合計、土壌有機炭素量および土壌含水率を測定した。土壌有機炭素量の測定にはTYURIN法およびC-Nコーダ法を用いた。

## 2. 筋状かき起こし後の天然更新

1979年に4haの面積を押し幅4m、施工率30%でブルドーザによる筋状かき起こしを行った214林班内の、標高約380mの尾根沿いの西向き緩斜面に、1984年に1×5mの更新調査プロットを2か所設定し、更新実生を継続的に調査した。調査は1984、85、87、88、90、92、94および96年の秋に、高木性実生の樹高、根元径を測定するとともに、個体の根元位置を測定して位置図を作成し、個体識別して追跡調査を行った。またプロット内で部分的にかき起こし強度が異なっていたため、表土がほとんど除去された強度処理と、表土が比較的残っている弱度処理の2段階に、目視により分類して位置図上に図示し、樹種構成や成長に差があるかについても調査した。

## 3. 除草剤散布後の天然更新

除草剤散布処理は、215林班内の尾根筋の特に立木密度が低かった場所を対象とし、1969年に塩素酸ナトリウム50%粒剤をヘリコプターにより空中散布した。散布量は200kg/ha、散布面積は約48haである。さらに翌年には、除草剤散布地の一部で小面積のかき起こしを強度、弱度の2段階の処理強度で行った。除草剤散布後15年を経過した1984年に、強度にかき起こしを行った強度区、弱度かき起こしの弱度区および除草剤散布のみの対照区の3か所に10×10mの方形調査区を設定し、1996年まで3年ごとに毎木調査を行った。調査は樹高1.3m以上の高木種を対象に直径と樹高を測定したほか、1990年以降は樹高0.3~1.3mの稚樹についても樹種と本数を記載した。各調査区が斜面上部から対照区、強度区、弱度区の順に配置されていることから、立地環境の違いによる影響を補足的に調査するために、1996年の調査では、各調査区に隣接するかき起こしを行っていない場所に0.03haの隣接調査区を新たに設定し、同様の毎木調査を行った。以下では、強度区、弱度区、対照区に隣接した調査区をそれぞれ強度区隣接区、弱度区隣接区、対照区隣接区と呼ぶ。

## 4. 蛇紋岩土壌が樹木実生の樹高成長および葉サイズに与える影響

1995年の秋に、北海道立林業試験場音威子府駐在所構内において、開口部が60×20cm、深さ15cmのプランターに3種類の土壌を詰めて発芽床を作成した。供試土壌の内訳を表-1に示す。s区とh区は同じ蛇紋岩地帯から採取したが、s区はかき起こしにより表層土壌を完全に剥ぎ取られた場所から採取した土壌を、h区はササ根系のすぐ下の層から採取した土壌を用いた。b区の土壌は、植生と腐植を含む土壌層を除去したC層から採取した。

各プランター内を半分に区切って、アカエゾマツ、トドマツ、ダケカンバ、ケヤマハンノキ、イタヤカエデの5樹種を播種した。1生育期間経過した1996年の秋に苗高を測定し、広葉樹については、葉サイズの指標として個葉の縦径と横径の積の最大値を求めた。

表-1 発芽床に用いた土壌

処理	土壌	土壌 pH
s	腐植を含まない蛇紋岩土壌	7.25
h	腐植を含む蛇紋岩の表層土	6.26
b	腐植を含まない褐色森林土	5.29

## 5. 蛇紋岩土壌が実生の地上部および地下部の成長に与える影響

4. でプランターに播種した樹種のうちで、アカエゾマツとトドマツについては、1996年以降も1998年まで3年間にわたり、生育期間の終了した秋に苗高を測定した。1998年の秋には全ての個体の根を掘り取り、地上部と地下部に分けて乾燥重量を測定し、T/R比を算出した。

重量測定後の植物体を各プランターごとにまとめて葉、幹、根に区分し、粉碎後に硝酸、過塩素酸、硫酸を用いて湿式灰化し、原子吸光法によりMgとCaの定量を行った。

## 結 果

### 1. かき起こし後の初期侵入

北向き斜面のP1, 南西向き斜面のP2の両プロットについて、かき起こし後に発生した樹種別の個体数を各調査年度ごとに示したのが表-2である。P1では22~73本/m<sup>2</sup>と多数のダケカンバが更新し、実生の大部分を占めていた。一方P2ではダケカンバがほとんどみられず、代わりにウダイカンバが侵入していたが、個体数ははるかに少なかった。アカエゾマツについては両プロット間に明瞭な差はみられなかった。また、各プロット内の各調査区間でも個体数は大きく変動していた。全樹種をあわせた個体数の推移を図-2に示す。図から明らかなように、更新実生は調査ごとに一定の割合で枯死し続けており、かき起こし後5年が経過しても侵入が続いた。枯死率では樹種間に差はみられず、全体では調査期間中に侵入個体の50%が枯死した。樹種別に全調査個体の平均樹高の推移をみると、各樹種ともかき起こし後4年経過した1997年までは20cm以下と、非常に低い値を示している(図-3)。特に大多数を占めるダケカンバはアカエゾマツよりも小さかった。一方ウダイカンバとケヤマハンノキは、個体数が少なくばらつきは大きかったものの、比較的順調に生育し特にウダイカンバは1998年に大きな伸びをみせた。

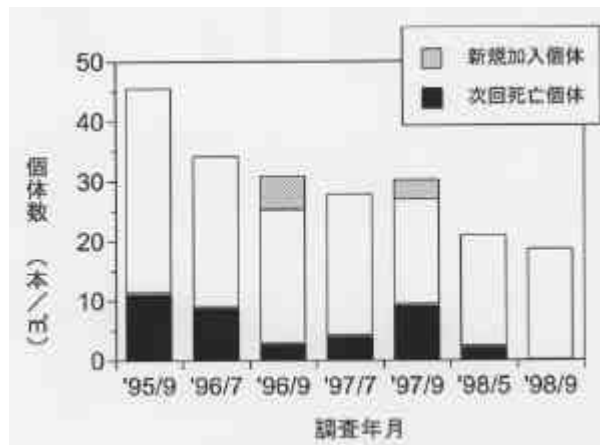


図-2 かき起こし後の全調査区の平均個体数の推移

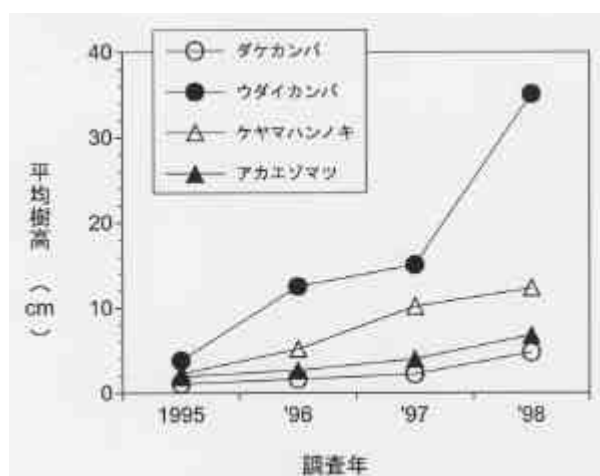


図-3 かき起こし後の樹種別平均樹高の推移

表-1 かき起こし後の樹種別個体数の推移

樹種	P1 (本/m <sup>2</sup> )				P2 (本/m <sup>2</sup> )			
	'95	'96	'97	'98	'95	'96	'97	'98
アカエゾマツ	6.6	4.6	3.4	2.0	3.8	2.2	1.2	0.6
ダケカンバ	72.6	47.4	42.6	22.0	0.4	0.6	0.6	0.4
ウダイカンバ	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.8	1.6	1.6
ケヤマハンノキ	2.2	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
ヤナギ sp.	2.0	2.0	1.6	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
ナナカマド	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
キハダ	0.4	0.2	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0

個体数の多かったP1のダケカンバについて、1997年の平均樹高を調査区ごとにみると、斜面上部のP1-1~P1-3では最下部のP1-5よりも樹高が有意に低かった（Scheffeの多重比較検定、図-4）。さらに、サンプリング調査による更新実生の地上部乾燥重量と土壤有機炭素量の関係では、両者に有意な正の相関がみられた（図-5）、土壤含水率についても、有意ではなかったものの同様な傾向が得られた。

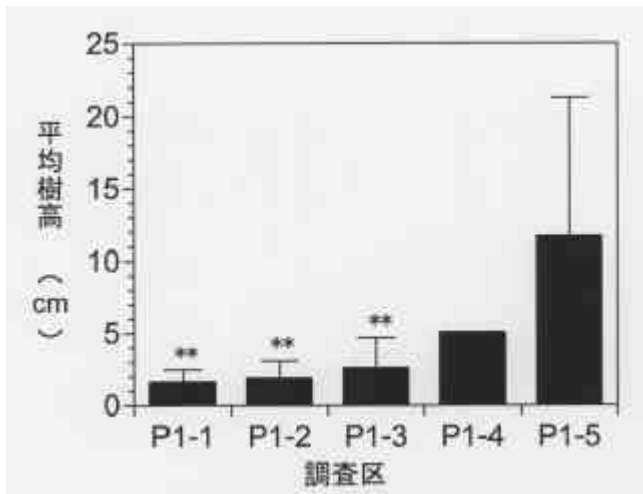


図-4 1998年のP1の調査区ごとのダケカンバ樹高  
縦棒は標準偏差、\*\*はP1-5との間の有意差 (p < 0.01)

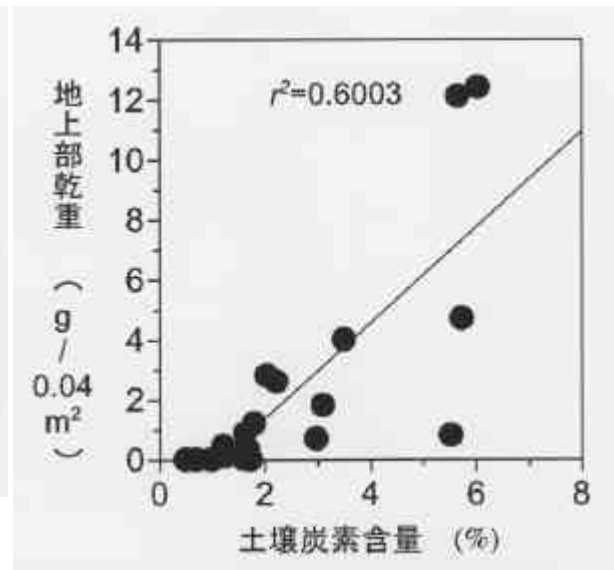


図-5 実生の地上部乾重と土壤炭素量の関係

## 2. 筋状かき起こし後の天然更新

更新実生の個体数の推移をプロット内の処理強度で分けて図-6に示す。ダケカンバ以外の広葉樹は、1994年までの調査では樹種を記載していなかったが、1996年の調査ではキハダ、イタヤカエデ、ケヤマハンノキ、ヤナギ類がみられた。初期の更新密度や更新実生の半数以上は針葉樹であること、後半になるほど広葉樹が減って針葉樹の比率が増すことなどは共通している一方、強度の処理で個体数の減少傾向が強いこと、トドマツが少ないことが特徴的であった。処理強度による違いを平均樹高の推移でみると（図-7）、強度処理区では更新初期やその後のダケカンバの成長が明らかに劣っており、針葉樹の樹高成長は弱度、強度ともに非常に遅かった。

次に、調査区全体での樹種別の枯死率を図-8に示す。枯死率は次式の通り定義した。

$$M(i) = \left( \frac{D(i)}{N(i-1)} - \frac{D(i-1)}{N(i-1)} \right) \times 100$$

M(i) : i回目の調査での枯死率、

D : 枯死個体数、N : 総個体数、y : 調査年度（西暦）

y : 調査年度（西暦）

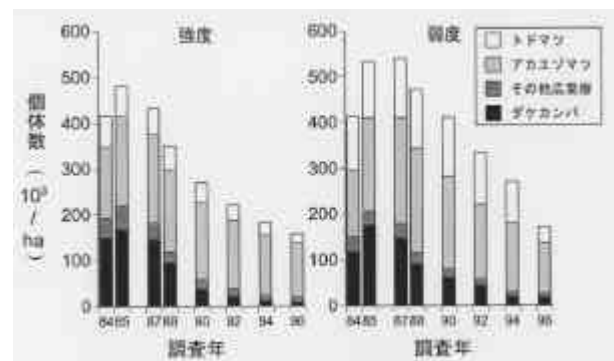


図-6 処理強度別の個体数の推移

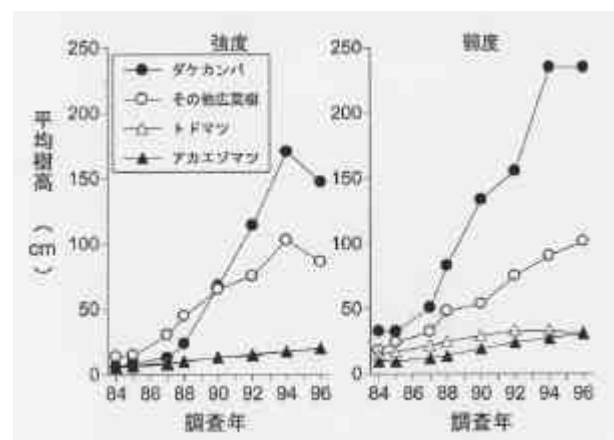


図-7 筋状かき起こし後の平均樹高の推移

図 - 8 で特徴的なのは、1988年に広葉樹の枯死率が非常に高いことである。また1996年には広葉樹の枯死率が減少しているのとは逆に針葉樹の枯死率が上昇していた。

これらのことを詳しくみるために、ダケカンバとアカエゾマツに着目して、調査区全体での両樹種の樹高階別頻度分布の推移を示す(図 - 9)。まずダケカンバでは、下層を中心に個体数を急激に減らす一方で、高い樹高階に進むものもみられ、L字型分布が急速に崩れていく。比較的大きな枯死個体がみられることも特徴的である。一方アカエゾマツでは、枯死は少ないものの、高い樹高階に進む個体もなく、L字型を保ったまま徐々に数を減らしていた。これらの傾向は、ダケカンバとその他の広葉樹、アカエゾマツとトドマツの間で共通していた。このような過程を経た結果、1996年現在での全樹種を含めた樹高階別頻度分布は図 - 10のような構造を示す。すなわち、下層には成長できない針葉樹が多く残り、中層がなく、ササ高を脱するほどの上層にダケカンバを中心とする広葉樹が少数存在する。

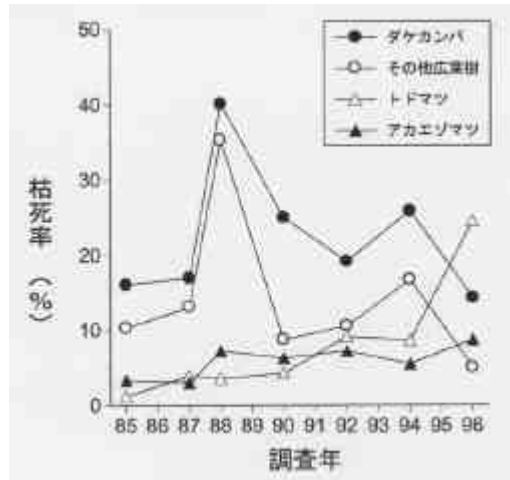


図 - 8 筋状かき起こし後の樹種別枯死率の推移

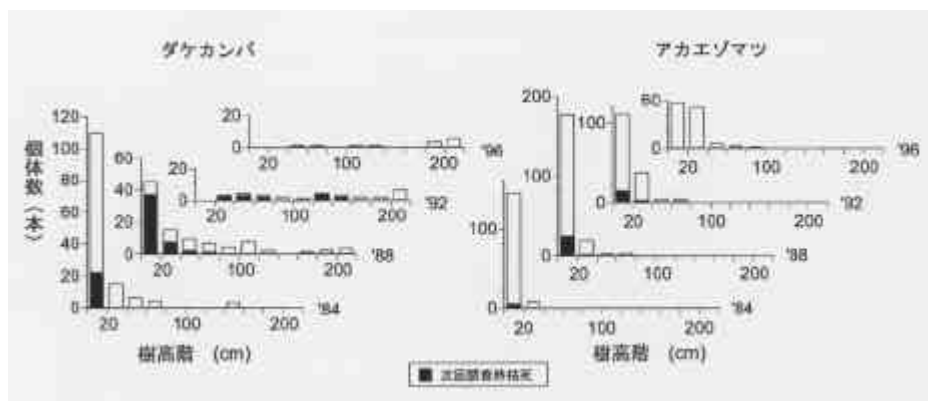


図 - 9 筋状かき起こし後のダケカンバとアカエゾマツの樹高分布

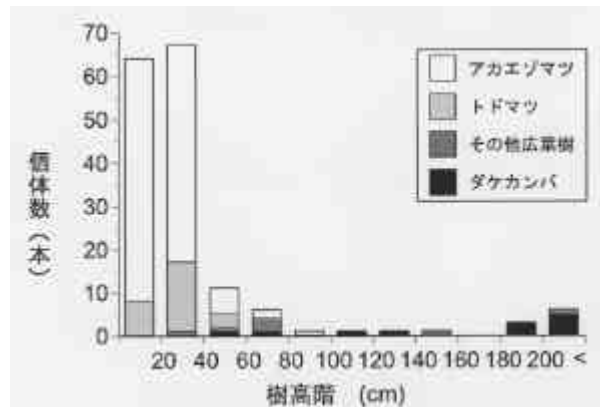


図 - 10 筋状かき起こし後の樹高階別本数分布 (1996年)

### 3. 除草剤散布後の天然更新

1996年における各調査区の樹種構成を本数割合で示す(表-3)。強度区では、1.3m以下の稚樹を含めればアカエゾマツとトドマツの針葉樹2種で全個体数の半数以上に達しているのに対し、ダケカンバは32.1%と少ない。対照区や弱度区ではダケカンバが大多数を占め、針葉樹の侵入はほとんどなかった。

各調査区における調査期間中の林分材積の推移を、収穫表による成長予測のデータと比較して示した(図-11)。比較対象の収穫表には、この地域のカンバ類二次林を代表するものとして、「北海道北部、東部地方のカンバ二次林収穫予想表」(北海道林業改良普及協会、1977)を用いた。最も良い成長をみせた弱度区では、収穫表の等地を大きく上回る材積成長を示した。一方、強度区の成長は等地を下回っていた。かき起こしを行っていない対照区では、等地と等地の間の成長を示した。

1996年に調査した各隣接調査区の樹種構成を表-4に示す。弱度区隣接区と対照区隣接区の樹種構成は弱度区、対照区(表-3)とほとんど同じであった。一方、強度区隣接区では強度区と大きく異なり、針葉樹の侵入がほとんどみられず、針葉樹の減少分はダケカンバではなくキハダやヤナギ類などが補完していた。1.3m以下の針葉樹稚樹はいずれの区でもみられなかった。

隣接調査区の林分材積は、斜面上の位置の低い方から順に高かった(図-11)。一方、同じ斜面位置の隣接する調査区間で比較すると、強度区ではかき起こしを行わなかった隣接区で材積が大きかったが、弱度区では処理区が隣接区を上回った。

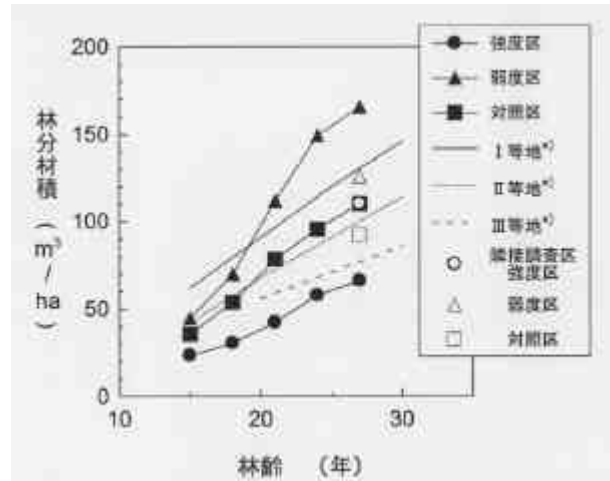


図-11 除草剤散布後の林分材積の推移と収穫表との比較  
\*: 北海道林業改良普及協会(1997)

表-3 除草剤散布後の各調査区における樹種構成(1996年)

樹種	相対密度(%)		
	強度区	弱度区	対照区
アカエゾマツ	7.3 (37.2)	1.6 (3.1)	0.0 (0.0)
トドマツ	7.3 (17.9)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
ダケカンバ	61.0 (32.1)	77.4 (75.0)	97.4 (97.4)
ケヤマハンノキ	7.3 (3.8)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
キハダ	4.9 (2.6)	1.6 (1.6)	1.3 (1.3)
ナナカマド	4.9 (2.6)	8.1 (7.8)	0.0 (0.0)
ミズナラ	2.4 (1.3)	0.0 (0.0)	0.0 (0.0)
イタヤカエデ	0.0 (0.0)	1.6 (1.6)	0.0 (0.0)
ハルニレ	0.0 (0.0)	0.0 (1.6)	0.0 (0.0)
コシアブラ	0.0 (0.0)	9.7 (9.4)	0.0 (0.0)
ヤナギ類	4.9 (2.6)	0.0 (0.0)	1.3 (1.3)

( ): 0.3<樹高<1.3mの針葉樹稚樹を含む

表-4 1996年の隣接調査区における樹種構成

樹種	隣接区	相対密度(%)		
		強度区 (斜面中部)	弱度区 (下部)	対照区 (上部)
アカエゾマツ		1.6	0.9	0.6
トドマツ		5.6	0.0	0.0
ダケカンバ		44.4	80.6	92.8
ウダイカンバ		0.0	0.9	0.0
ケヤマハンノキ		1.6	0.0	1.8
キハダ		12.9	9.3	2.4
ナナカマド		0.0	2.8	0.6
ミズナラ		1.6	0.0	0.0
イタヤカエデ		1.6	1.9	0.6
ハリギリ		1.6	0.0	0.0
ホオノキ		3.2	0.0	0.0
シナノキ		0.0	0.9	0.0
ヤナギ類		25.8	2.8	1.2

#### 4. 蛇紋岩土壌が樹木実生の樹高成長および葉サイズに与える影響

発芽後1生育期間を経過した1996年秋の実生の樹高を図-12に示す。当年生実生の樹高は、いずれの樹種においてもs区で最も低かった。アカエゾマツ、ダケカンバ、イタヤカエデではb区に比べてs区で有意に樹高が低く（Scheffeの多重比較検定）、蛇紋岩による生育阻害がみられた。

しかし、h区においてはダケカンバ以外ではb区との間に有意差がみられず、ケヤマハンノキのように逆に高いものもあるなど、生育阻害はみられなかった。

広葉樹3種の最大個葉サイズにおいても、s区では他の土壌に比べて有意に小さい結果となった。樹高と同様に、イタヤカエデとダケカンバにおいて特に顕著な影響がみられ、ケヤマハンノキは他の2種に比較すると影響が少なかった（図-13）。

#### 5. 蛇紋岩土壌が実生の地上部および地下部の成長に与える影響

調査期間中の実生の樹高成長を図-14に示す。アカエゾマツ、トドマツともに、発芽当年から3年間を通じてs区での成長量は非常に小さく、ほとんど成長していないことが分かる。一方、h区では成長抑制はみられず、b区と同等あるいは上回る成長をみせた。

各処理区における1998年時点での地上部と地下部の個体当たりの平均乾燥重量を図-15に示す。地上部は、両樹種ともに樹高成長量を強く反映した結果が得られた。すなわち、s区は両樹種ともに非常に小さい値を示したのに対し、h区はトドマツではb区に近い値を、アカエゾマツではb区より大きい値を示した。ただし、反復間のばらつきが大きかったため、統計的な有意差はトドマツのb-s区の間でしかみられなかった（Scheffeの多重比較検定）。地下部についても、s区の値は両樹種ともに地上部と同様に小さく、b-s区間には有意な差がみられた。しかし、h区の値は地上部に比べてやや低い傾向がみられた。すなわち、

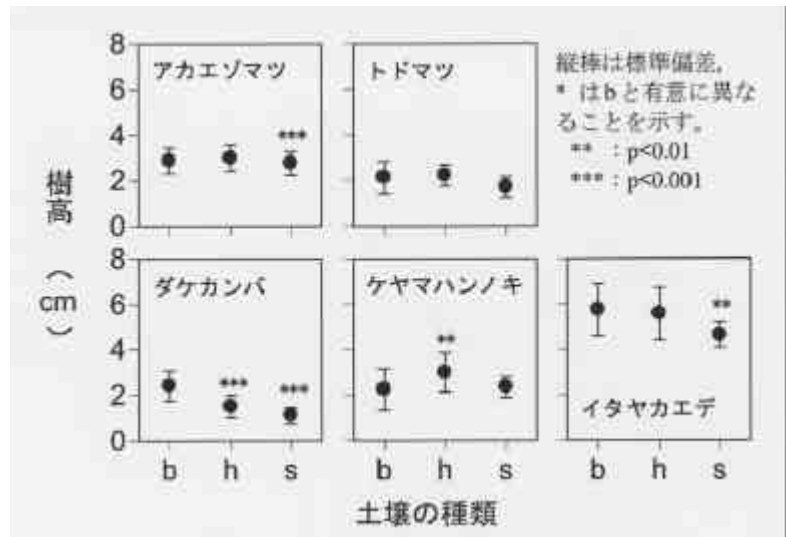


図-12 土壌による樹高の違い

土壌の種類は表-1参照

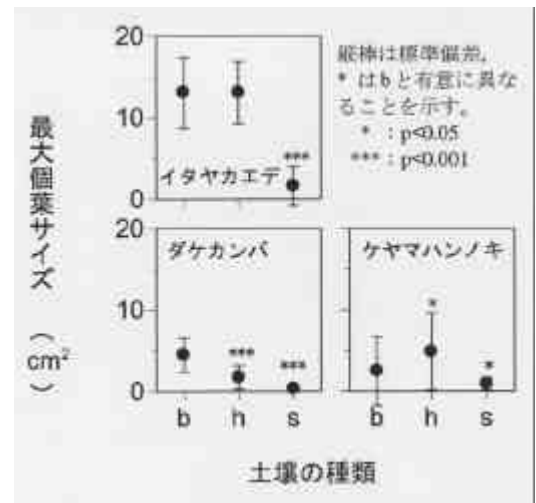


図-13 土壌による葉サイズの違い

土壌の種類は表-1参照

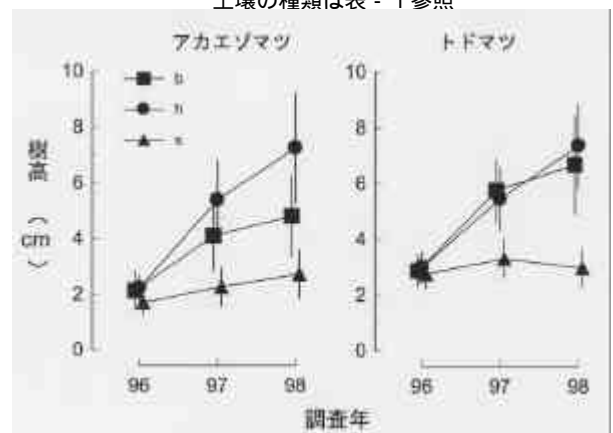


図-14 土壌による樹高成長の違い

縦棒は標準偏差を示す、土壌の種類は表-1参照



地上部ではb区よりh区のほうが高かったアカエゾマツではb - h区間の差が縮まっており、同程度だったトドマツではh区がb区よりも有意に小さかった。

地上部と地下部の成長量のバランスをみるために、地上部乾燥重量を地下部乾燥重量で割ったT/R比を図 - 16 に示す。アカエゾマツ、トドマツともにb区に比べてh区、s区ともに有意に大きい値を示した。

植物体内のMg, Ca含有量を分析した結果を図 - 17 に示す。アカエゾマツ、トドマツともに、s区ではMg含有量が非常に高く、Mgを多量に含む蛇紋岩土壌から多くのMgを吸収していた。h区では、両樹種ともに葉や幹のMg含有量はそれほど高くないが、根においてはかなり高くなっていった。

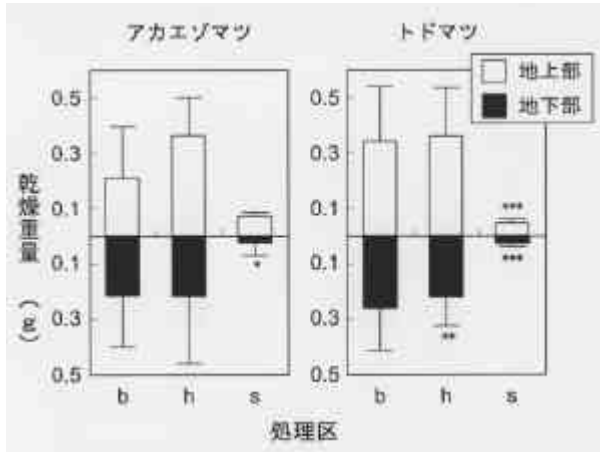


図 - 15 土壌による地上部・地下部乾重の違い

縦棒は標準偏差、\* : p<0.05, \*\* : p<0.01, \*\*\* : p<0.001 で b と有意差  
土壌の種類は表 - 1 参照

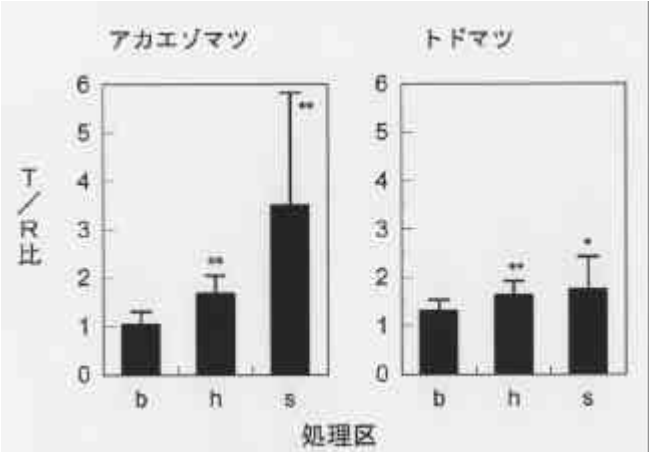


図 - 16 土壌による T/R 比の違い

縦棒は標準偏差、\* : p<0.05, \*\* : p<0.01 で b と有意差  
土壌の種類は表 - 1 参照

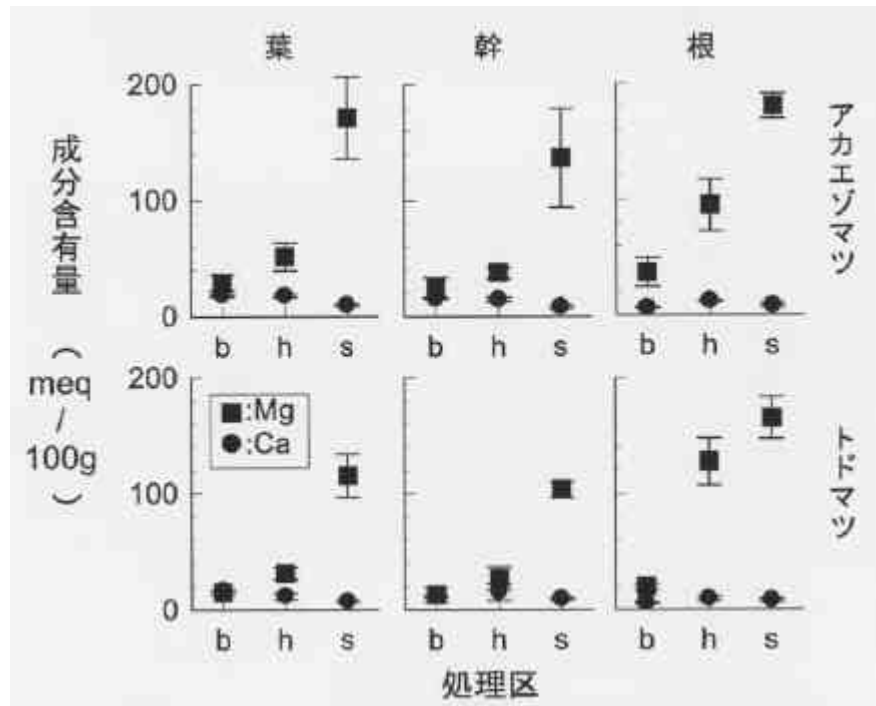


図 - 17 土壌による樹体内 Mg, Ca 含有量の違い

縦棒は標準偏差、土壌の種類は表 - 1 参照

## 考 察

### 1. かき起こし後の初期侵入

かき起こし後の実生の樹種別更新個体数は、プロット間で大きく異なった(表 - 2)。これは種子供給量の差から説明できる。1997 年はダケカンバの種子が豊作であったが、この年のシードトラップによる種子散布量調査では、P1

で5672.8個/m<sup>2</sup>のダケカンバ種子が得られたのに対して、P2ではわずかに7.6個/m<sup>2</sup>しか得られなかった。ウダイカンバについても、豊作年だった1998年は、P1で6.8個/m<sup>2</sup>だったのに対して、ウダイカンバ実生が更新していたP2では27個/m<sup>2</sup>と多かった。このように、プロット周囲の母樹密度の違いを反映したプロット間での種子供給量の差が、更新実生の個体数に大きく影響したと考えられる。

更新した実生の成長量は低く、特にダケカンバの成長が顕著に低かった。これは、蛇紋岩土壌という特殊な土壌条件に加えて、調査地点の傾斜が急で表土が流されやすいこと、比較的広い面積のかき起こしのため乾燥しやすく、リターの堆積、分解による養分供給も少ないことなどが影響していると推察される。しかし、個体数は少ないものの、ウダイカンバやケヤマハンノキは比較的良好的な成長をみせた(図-3)。これらの樹種が順調に生育すれば、再生された森林の中で重要な地位を占めることになるだろう。ただし、ウダイカンバではウサギによると思われる食害が観察されていることから、今後の長期的な観察が必要である。

斜面の下部でダケカンバの樹高成長が有意に高いこと(図-4)、土壌有機炭素量に応じて実生の乾燥重量が増大すること(図-5)などから、土壌条件の厳しい蛇紋岩土壌のかき起こし地では、わずかな土壌条件の差が実生の成長に大きく影響を与えることが分かった。条件の悪い場所に更新した稚樹は、長期間をかけて土壌条件が徐々に改善されるまでは成長量が低く、枯死するものが多いと推測される。しかし現在はまだ更新の初期段階であり、今後の推移を長期的に観察する必要がある。

蛇紋岩土壌におけるかき起こしは、ただでさえ薄い表土をササとともに除去してしまうことから、土壌に与えるインパクトが非常に大きい作業方法といえる。種子供給が十分にあれば実生は更新するものの、その成長は全体的に低く、わずかな土壌条件の差に大きく左右されることが明らかとなった。従って、このような作業を行う際には、母樹の配置を考慮して十分な種子が得られる場所を選定するとともに、かき起こしの強度を弱くして土壌有機物をなるべく残すように工夫する必要がある。

## 2. 筋状かき起こし後の天然更新

筋状かき起こしにより、処理5年後の1984年の時点でダケカンバは151,000本/ha、全樹種で414,000本/haと、一般的なかき起こし地と変わらない更新(小山・矢島, 1989)がみられた(図-6)。中でもアカエゾマツを中心とする針葉樹が約半数を占めていることが特徴的である。しかし、その後の成長は不良で(図-7)、処理後17年を経過した1996年においても、調査区全体の平均樹高はダケカンバで約2m、アカエゾマツでは約24cmと、一般的なかき起こし地のカンバ類の成長(青柳, 1983; 奥村ほか, 1984)に比べて非常に低かった。かき起こし強度の違いは、単一のかき起こし処理の中で結果的に異なっていた部分を抽出したため、影響は限定的であったが、侵入樹種(図-6)やダケカンバの成長(図-7)において違いが見られた。

広葉樹の枯死率は1988年にピークを持ち(図-8)、この年以降に樹高20cm以上のダケカンバの枯死が目立つ(図-9)。これはこのころにササが急速に回復しはじめた事を示しているのかもしれない。筋状かき起こしでは両側の置き幅にササが残存しており、処理後17年目の1996年の観察では、置き幅からのササのかぶさりにより、更新稚樹の多くはササの被圧下にあった。周囲のササの稈高が2m前後に達している現在、更新稚樹はササ高を脱している数少ない広葉樹と、下層でササの被圧に耐えている多くの針葉樹に二分した構造をみせている(図-10)。この構造は今後も変化なく続き、成長できない大部分の針葉樹は順次枯死していくと考えられることから、最終的にはダケカンバ主体の疎林が成立すると推測される。ただし1996年現在で60cm以上の比較的生育が順調なアカエゾマツは3,000本/ha、置き幅を考えても1,000本/ha存在する。これらがササ高を脱するまで順調に生育できれば、ダケカンバと混交林を形成する可能性も残されている。

このように、蛇紋岩地帯における筋状かき起こしでは、実生の発生は多数みられるものの、成長量が低い上にササの回復による枯死も多く、短期的に密度の高い森林が成立することは困難と考えられる。したがって、置き幅のササを抑制するなどの新たな工夫が必要であろう。

### 3. 除草剤散布後の天然更新

針葉樹実生の更新が強度区に限られた(表-3)ことから、針葉樹の発生には強度かき起こし等の強い土壌攪乱が不可欠であるといえる。一方、強度区では更新木の成長が低く、上層の広葉樹はIII等地以下であり(図-11)、針葉樹のほとんどは胸高以下とほとんど成長していない。したがって、強度の土壌攪乱によって針葉樹が更新しても、それらが成林することは短期的には望めない。松田(1989)は、蛇紋岩地帯の天然生アカエゾマツを樹幹解析した結果、樹高1mに達するまでに50~100年を要している個体が多いことから、長期間の被圧に耐えて生き残った個体が林冠木の攪乱の後に上層を占めると論じている。しかし、このような図式が本調査地にも当てはまるという確証はなく、現時点でこれを根拠に強度かき起こしを行うことはリスクが大きい。より長期的な観察によって、今後の動向を見極める必要があるだろう。

一方、弱度区や対照区においては、上層を占めたダケカンバは一般土壌と同等の材積成長を示した。したがって、表層土壌を剥ぎ取ってしまうような強度の土壌攪乱を伴わなければ、蛇紋岩土壌で成立した広葉樹二次林は一般土壌と同様の取り扱いができるといえる。

強度の土壌攪乱を伴わない更新補助作業としては、除草剤のほかに火入れなども考えられるが、火入れには大量の人員と周到な防火体制が必要となり、現実的ではない。除草剤は比較的安全・安価であるが、除草剤の種類や使用方法によっては重大な環境汚染を引き起こす危険性もあり、大規模な使用は慎むべきである。このような問題点を十分考慮に入れた上で、蛇紋岩という特殊な条件下に限定して考えれば、除草剤の使用は森林再生の有効な選択肢の一つとなりうると考えられる。

土壌攪乱をまったく伴わない場合、針葉樹の更新はあまり期待できない。蛇紋岩地帯本来の森林の姿である、アカエゾマツ林の再生を目的とする場合には、除草剤などの土壌攪乱を伴わない技術と、かき起こしなどの土壌を攪乱する技術を融合するような試みが必要になる。このような新しい技術の開発についても、検討を進めるべきであろう。

### 4. 蛇紋岩土壌が樹木実生の樹高成長および葉サイズに与える影響

腐植を含まない蛇紋岩土壌では、当年生の樹木実生の成長は強く阻害されること、同じ蛇紋岩土壌でも腐植を含んだ表土ではほとんど成長阻害がみられないことが明らかになった(図-12, 13)。

樹種別では、ダケカンバが蛇紋岩土壌による生育阻害を非常に受けやすく、ケヤマハンノキは比較的被害が軽微であった。また、蛇紋岩地帯の優占種であるアカエゾマツでも、生育阻害を受けていた。したがって、ダケカンバやアカエゾマツなどの、蛇紋岩地帯でよくみられる樹種も、かき起こしなどで表土が失われると、生育が大きく低下するといえる。

### 5. 蛇紋岩土壌が実生の地上部および地下部の成長に与える影響

アカエゾマツ、トドマツともに、腐植を含まない蛇紋岩土壌であるs区では、強い成長阻害を受け(図-14, 15)、T/R比が高く(図-16)、植物体のMg含量が高い(図-17)という影響を受けていた。アカエゾマツは蛇紋岩地帯で特徴的に純林を形成し(館脇, 1943)、Mg過剰の条件下でもMgを吸収しすぎない選択吸収のメカニズムを持つことが示唆される(Blandon et al., 1994)など、蛇紋岩土壌に適応できる生理・生態的特徴を持つと考えられている。しかし今回の調査結果は、アカエゾマツが蛇紋岩土壌で生育可能なのは腐植に富むごく薄い表層土壌に根を分布できる浅根性によるもので、腐植を含まない蛇紋岩土壌ではアカエゾマツといえども十分な生育はできない、ということを示唆している。しかし、今回の調査はあくまでも実験的な処理で、3年生実生までの段階についての結果である。今後、森林内の様々な生育ステージの個体についてもデータを収集し、検証していく必要がある。

また、両樹種とも、樹高成長には抑制が見られなかったh区においても、T/R比はb区に比べて有意に大きかった(図-16)。すなわち、腐植を含んだ蛇紋岩土壌であっても根系の成長はやや抑制され、地上部と地下部のバランスが崩れているといえる。このことから、腐植による土壌の改善効果は大きいものの、少なくとも実生段階においては、完全に蛇紋岩の悪影響を排除できているわけではないと考えられる。

## 6. 蛇紋岩地帯における天然更新技術の提案

本研究では、蛇紋岩土壌での植物の成長が土壌の腐植含有量に大きく依存していることが、様々な調査の結果から繰り返し明らかになった。これらの結果から、蛇紋岩土壌においては、腐植を含んだ土壌表層を可能な限り保残することが、その後の更新木の成長にとって不可欠であり、土壌攪乱強度の低い除草剤のような更新補助作業を行えば、ダケカンバ主体の広葉樹林の成立は十分に可能であるといえる。

一方、蛇紋岩地帯の代表樹種であるアカエゾマツをはじめとする針葉樹は、強度のかき起こしにより腐植層を除去しないと天然更新できないことが分かった。しかし、強度かき起こし後に更新した稚樹の成長は、針葉樹、広葉樹ともに非常に悪く、上層を占める広葉樹は処理後 27 年を経過しても最多密度に達しないまま密度が低下していく状況にある。また、筋状かき起こしでは、成長の速い広葉樹は既にササ高を脱しているものの、成長の遅い針葉樹はまだササ高を脱しておらず、置き幅からのササのかぶさりや押し幅内のササの再生により被圧を受けている状態にある。これらの結果から、かき起こしによる針葉樹の天然更新だけでは、蛇紋岩地帯において短期的に針葉樹林を成立させることは困難であるといえる。蛇紋岩地帯の代表的な植生であるアカエゾマツ主体の林分を成立させるためには、筋状のかき起こしと除草剤の組み合わせや、土壌改良方法の改善など、新たな技術開発が必要である。また、蛇紋岩地帯の土壌の特殊性を考えれば、より長期的な視点で観察していくことも重要であろう。

以上のことを総合し、蛇紋岩地帯において、広葉樹二次林、針広混交林、アカエゾマツ純林の 3 種類の林型を目標とした場合の更新技術を、それぞれ取りまとめたのが表 - 5 である。

広葉樹二次林を目標とする場合には、土壌攪乱の少ない更新補助作業によってササを除去すれば、一般土壌と同様の成長量を示す林分を成立させることができる。除草剤を利用する場合、大面積の空中散布などは周辺環境への影響が大きいと考えられるので、特にササの密度が高く、除草剤以外の更新補助作業が難しい地域などに限定して、小面積で行うことなど、十分な配慮を払うことが必要であろう。弱度かき起こしは、尾根部の腐植を含んだ表層土壌が非常に薄い場所では、ササの除去に伴って表層土壌も除去されてしまうことが多く、技術的に困難であると想定される。しかし、斜面の比較的下部であれば、土壌層も比較的厚くなるため、適用可能な場面も出てくると考えられる。

針広混交林を目標とする場合には、針葉樹の更新を促す技術を上述の土壌攪乱の少ない技術と組み合わせる必要がある。筋状のかき起こしや人工植栽と除草剤を併用することにより、置き幅からのササのかぶさを回避できる時間が長くなり、成長の遅い針葉樹がササ高を脱する可能性が高まる上、除草剤散布地に更新した広葉樹による保護効果

表 - 5 蛇紋岩地帯における施業方法の提案

目標とする林分	適合する施業法	備考
広葉樹二次林	土壌攪乱の少ない更新補助作業 ・ 除草剤散布 ・ 弱度かき起こし	環境に対する配慮が必要 土壌層が薄いと技術的に難しい。
針広混交林	既存技術の組み合わせ ・ 筋状かき起こし+除草剤 ・ 針葉樹列状植栽+除草剤 強度かき起こし	長期間が必要。成立の可能性は未知数。
アカエゾマツ純林	人工植栽	

や土壌改良効果も期待できる。しかし、実際の適用した事例がまだ無いこと、かき起こしと除草剤散布の時期をずらすなどのより効果的な手法についても検討の余地があることなどから、確立された技術だとは言えない。今後、試験施工を行って検証していく必要があるだろう。強度かき起こしについては、更新した針葉樹、広葉樹ともに、成長が非常に悪く、少なくとも短期的には、健全な林分が成立することは考えにくい。ただし、成長は遅いものの針葉樹が更新しており、長期間を経れば針広混交林が成立する可能性もないわけではない。調査地周辺では平成5年に大規模にかき起こしがなされているので、その後の経過を長期的に観察していくことが重要であろう。

蛇紋岩地帯を代表する林相であるアカエゾマツ純林を短期的に確実に再生する方法は、現在の技術では人工植栽以外にはない。植栽に際しては、初期成長の低下を少しでも改善するための土壌改良技術の開発が必要である。

## おわりに

以上のように、蛇紋岩地帯の森林施業方法について提案を行った。しかし、これらの技術はいずれも完成された技術とはいえないため、今後は事例を積み重ねながら観察を行い、適宜修正、改良を行っていく必要があるだろう。また、蛇紋岩地帯という厳しい環境条件下において、人間の手が加わる以前の原生的な森林を再生するためには、非常に長い時間を要する。早期に森林を再生するという視点だけにとらわれず、長いタイムスケールで徐々に本来の自然サイクルに近づけていくような発想も必要だと考えられる。

## 謝 辞

本研究の一部は、美深道有林管理センターおよび旧音威子府支署が設定、継続調査を行ってきたデータに筆者が最新の調査結果を付け加えて取りまとめたものであり、調査に携わった道有林関係者に深く感謝の意を表す。調査および取りまとめには、当時の道北支場長である浅井達弘博士をはじめ、林業試験場道北支場および音威子府駐在所の職員の協力を得た。樹体内のマグネシウム、カルシウムの分析には、北海道立天北農業試験場の木曾土壌肥料科長および大塚研究職員の協力を得た。記して感謝する。

## 文 献

- 青柳正英 1983 道有林の「かき起こし」の実態．北方林業 35：49～53
- Blandon, D. M. Z., Satoh, F., Matsuda, K., Sasa, K. and Igarashi, T. 1994 The mineral condition of soils and tree species in serpentine and non-serpentine areas of northern Hokkaido. 北大演報 51(1)：1～13
- Brooks, R. R. 1987 Serpentine and its vegetation. A Multidisciplinary Approach. 454p Dioscorides Press, Portland, Oregon.
- 北海道林業改良普及協会 1977 北海道主要造林樹種収穫表と成長量に関する資料 第 編 .100pp. 札幌
- 北海道林務部 1970 物満内川流域森林調査報告 .90pp. 札幌
- 石坂久志 1985 更新困難地（蛇紋岩地帯）の天然更新．昭和 59 年度林業技術研究発表大会論文集：84～85
- 国土庁土地局 1977 土地分類図付属資料 北海道（上川）.57pp. 東京
- 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
- 松田 彊 1989 アカエゾマツ天然林の更新と成長に関する研究．北大演報 46：595～718
- 奥村日出雄・矢島 崇・滝川貞夫・松田 彊 1984 大型機械によるかき起こし地の天然更新 - カンパ類を中心として - . 日林北支講 33：83～85

- Proctor, J. 1971a The plant ecology of serpentine . Plant response to serpentine soils. J. Ecol. 59:397~410
- Proctor, J. 1971b The plant ecology of serpentine . The influence of a high magnesium / calcium ratio and high nickel and chromium levels in some British and Swedish serpentine soils. J. Ecol. 59:827~842
- Proctor, J. and Woodell, S. R. J. 1971 The plant ecology of serpentine . Serpentine vegetation of England and Scotland. J. Ecol. 59:375~395
- 佐々木泰 1985 更新困難地(蛇紋岩地帯)の人工更新. 昭和59年度林業技術研究発表大会論文集:82~83,
- 館脇 操 1943 アカエゾマツ林の群落学的研究. 北大演報 13(2):1~181
- 山田健四 1997 蛇紋岩土壌における広葉樹二次林の成長. 平成8年度林業技術研究発表大会論文集:86~87
- 山田健四・1999 蛇紋岩土壌における土壌攪乱強度と二次林の成長. 日林誌 81(4):291~297
- 山田健四・大野泰之 1998 蛇紋岩土壌での天然更新(II) - かき起こし後の侵入の初期過程 - . 日林北支論 46:49~51
- 山田健四・佐藤英彰 1997 蛇紋岩土壌での天然更新(I) - 筋状かき起こし地での更新状況 - . 日林北支論 45:64~66
- 山本勝則・嶋田 一 1991 蛇紋岩地帯の天然更新について. 平成2年度林業技術研究発表大会論文集:92~93

#### Summary

In Monomanai district of Otoineppu village, northern inland of Hokkaido, where snow falls heavily in winter and natural regeneration was restricted because of serpentine soil and cover of Sasa, the basic research to promote natural regeneration was carried out. Early regeneration after the soil scarification in serpentine soil region, seedlings such as *Betula ermanii* and *Picea glehnii* was appeared, but they grew very slowly, and aboveground biomass of seedlings was positively correlated to the carbon contents of surface soil. After herbicide treatment followed by soil scarification, coniferous species was appeared only by heavy scarification treatment, but the stand growth was very low. After herbicide treatment with weak scarification or without scarification, no conifer was regenerated, but stands grew evenly or rather higher than stands in general soil region. In the experimental study of seedling growth in 3 types of soils using planter box, growth of the current year seedlings of many species was severely inhibited on the serpentine soil without humus, and Mg concentration of seedling body of *Abies sachalinensis* and *Picea glehnii* was remarkably higher on the same soil. In conclusion, the soil humus contained in surface soil plays a very important role for natural regeneration in the serpentine soil region of northern Hokkaido.

Key Words: serpentine soil, natural regeneration, soil scarification, soil humus, soil disturbance