

(論 文)

高性能機械作業が更新に及ぼす影響

深澤 光

Influence of mechanized harvesting on regeneration

Hikari Fukazawa

要 旨

高性能機械作業が、作業後に植栽された造林木等に及ぼす影響とその原因についての研究を行った。機械作業による強い攪乱を受けた箇所では、土壌硬度の増加、孔隙の減少、容積重の増加など物理特性の変化が認められ、重度の攪乱を受けた箇所では造林木の中に枯死した個体があり、また中度の攪乱を受けた箇所においても枝の枯れ上がりが見られ、攪乱箇所では自然植生の回復の遅れも認められた。それら機械作業が更新に及ぼす影響の主要な原因は、土壌の締め固め、攪乱により孔隙が減少したことによる根系へのストレスであると考えられた。水ポテンシャルを測定した結果、その変動が根系へのストレスの度合いをよく表していたことから、水ポテンシャルは土壌及び更新への影響を評価するための有効な指標となり得ると考えられた。

Japanese cedar (Sugi) seedlings that had been planted after operation by means of forest harvesting machines and vegetation were investigated in order to clarify the influence of mechanized harvesting on forest regeneration. The physical characters, the growth and vigor of seedlings, the biomass of the vegetation, and the water potential were investigated in each of the classified soils. In heavily compacted soils, the hardness increased, while pores and bulk density decreased. About half a year after the harvesting operation, some of the planted seedlings had died, and dead branches were observed in the lower part of most seedlings even in medium-compacted soil and two years after the harvesting operation, vegetation in compacted soils were obviously late in recover. The results of our research indicated that main reason for the decline in planted seedlings and vegetation was water stress caused by decreasing of pores in compacted soils, and it is possible to use the water potential after a period of heavy rain as the index of the influence on soil and regeneration.

キーワード：高性能機械作業，水ポテンシャル，土壌孔隙，更新，ストレス

目 次

はじめに	2	2 結 果	3
1 方 法	2	2. 1 土壌への影響	3
1. 1 調査地の概要	2	2. 1. 1 土壌の物理特性	3
1. 2 作業方法と使用機械	2	2. 1. 2 土壌の水ポテンシャル	3
1. 3 調査方法	2	2. 2 造林木への影響	4
1. 3. 1 土壌調査区分	2	2. 3 植生の回復状況	5
1. 3. 2 土壌調査内容	2	3 考 察	5
1. 3. 3 造林木への影響	3	引用文献	5
1. 3. 4 植生の回復状況	3		

はじめに

近年、コスト低減や作業の安全性の向上の面から伐出作業の高性能機械化が普及されてきている一方、林内における大型機械による作業に伴う土壌等森林環境への影響が懸念されている。このため、森林の持続的利用を重視した森林環境への影響を少なくする機械作業の指針の確立が求められている。

これまで、機械作業による林地土壌や造林木への影響については、トラクター集材を中心に走行回数等攪乱や締め固めの程度による表層土壌の硬度の増加、孔隙の減少などの物理特性の変化や、それらに伴う造林木など植生の成長量の減少などが報告されており^{1, 2, 3)}、近年は高性能機械作業による林地及び立木の成長への影響や、それらの軽減策に関する報告もなされている^{4, 5, 6)}。

しかし、立地条件が多様に異なる林地において、機械作業による影響を評価するためには、多くの指標を併せて用いる必要があるとの指摘があり⁷⁾、特に、ここでは土壌の攪乱や締め固めの程度により造林木の生育への影響及び自然植生の回復状況に違いが見られたことから、土壌の物理特性と合わせ、植物の成長に大きく影響する土壌の水湿状態を示す水ポテンシャルを測定し、機械作業による影響を攪乱の程度による降雨後の乾燥過程における表層土壌の水ポテンシャルの変化の違いについて調査した結果について報告する。

なお、本研究は大型プロジェクト研究開発推進事業課題「機械化作業システムに適合した森林施業法の開発」で実施したものである。

1 調査方法

1.1 調査地の概況

岩手県稗貫郡大迫町の向山地区町有林内のスギ42年生林分1.17haを調査地とした。

調査地は、ほぼ北向き斜面の中腹部で平均傾斜15度、海拔標高は224m～264m、土壌型はB1D型（適潤性黒色土）である。

調査地において1998年5月に列状間伐を行った。間伐前の立木成立本数はha当たり1,176本、平均単木材積は0.40m³であり、間伐率（本数）は18.3%であった。

1.2 作業方法と使用機械

伐倒は1列及び2列の列状間伐とし、ハーベスタ（コーネ・ケトネン KETO-100、ベースマシン：キャタピラー三菱 REGA307）を主体として、一部はチェーンソーにより行った。集材は、全木集材をグラップル・スキ

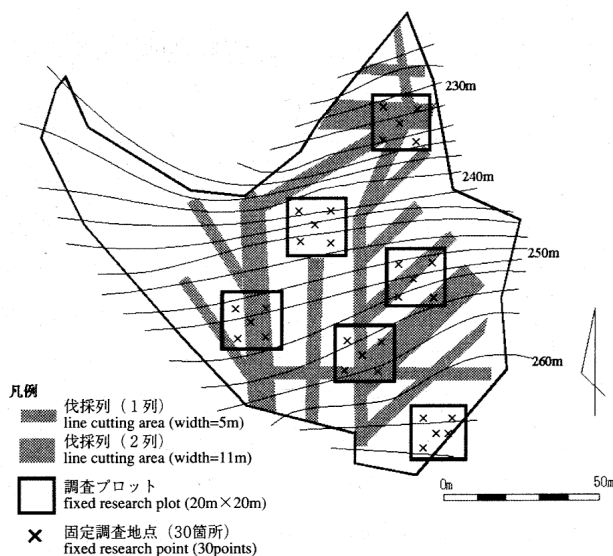


図-1 試験地位置図
Fig. 1. Study sites

ッダ（イワフジT-40G）により下げ荷を主体に行い、枝払い・造材は土場においてハーベスタにより行った。

1.3 調査方法

1.3.1 土壌調査区分

機械作業による森林環境への影響を調査するため、調査地内の6つの調査プロット各5点計30箇所の固定調査地点を設け（図-1）、作業後に攪乱等の影響の程度により、以下の4つに区分し、それぞれ土壌の物理特性、水ポテンシャルを調べた。

- (1) 重度攪乱：ホイルトタイプスキッドが繰り返し走行及びクローラタイプハーベスタが旋回した、目視により著しい表土の変形が認められた4箇所（以下「重度」という。）
- (2) 中度攪乱：ホイルトタイプスキッド及びクローラタイプハーベスタがそれぞれ2回程度走行した、目視により走行跡が認められた4箇所（以下「中度」という。）
- (3) 軽度攪乱：スキッドのウインチにより全木地曳き集材した7箇所（以下「軽度」という。）
- (4) 対照：作業を行わないか作業の影響がなかった15箇所

1.3.2 土壌調査内容

土壌の物理特性は、作業前の各調査プロットの中心地点と作業1年後の30箇所の全調査地点の地表面から深さ10cmの土壌を400ccの採土円筒によりサンプリングし、容積重、透水性及び孔隙組成を測定した。

土壌硬度は、30箇所の調査地点において大起理工業製コーンペネトロメータにより、深さ50cmまでの表層土壌の硬度（貫入抵抗値）を作業直後に調査地点1箇所につき5回測定を行い、地表面から深さ10cm毎に5回の平均値を求め、各地点・深さ別の土壌硬度とした。

土壌の水ポテンシャルは、大起理化学工業製テンシオメータ DIK-3150-12により、表層土壌深さ10cm (18箇所)、30cm (12箇所)、50cm (6箇所) に受感部を固定設置して、1998年には5月から10月まではほぼ5回計測し、その結果、降雨後の経過日数や大気乾燥状態により水ポテンシャルの値が大きく左右される傾向が見られたため、1999年には20mm以上のまとまった降雨後の経過日数により、5月から10月まで計8回測定した。

1. 3. 3 造林木への影響

1998年7月、列状間伐により伐開された箇所にはスギ実生3年生苗木を植栽し、植栽当年及び1年後に枯死及び枝の枯れ上がり状況を調査した。

1. 3. 4 植生の回復状況

2000年8月に各攪乱区分の1箇所において0.5m四方のコードラートを各5箇所取り、植生の地上部現存量(乾重量)を測定し、5箇所の平均値を各攪乱区分における現存量とした。

また、現存量に大きく影響すると考えられた各調査箇所の林床(地上高1.5m)における日射量について、1999年及び2000年の7月初旬に大成化工社製T-METER THS-470により10日間の積算日射量として測定し、試験地近くの裸地における積算日射量を100%として相対日射量を算出した。

2 結 果

2. 1 土壌への影響

2. 1. 1 土壌の物理特性

透水性は、図-2に示すとおり、攪乱の程度が強いほど透水性が悪くなる傾向が見られ、重度で8ml/分と極めて透水性が悪かった。

細土容積重は、図-3に示すとおり、攪乱の程度が強いほど容積重が大きくなる傾向が見られ、重度では、平均62g/100ccとなっていた。

全孔隙率は、図-3に示すとおり、攪乱の程度が強いほど小さくなる傾向が認められた。粗孔隙率は、特に重度では極端に低い箇所があった(図-4)。

土壌の硬度(貫入抵抗値)は、図-5に示すとおり、対照および軽度と比較して、中度及び重度で土壌硬度が高い値を示し、地表面からの深さ0から5cmの表層では、中度が重度を上回る特徴的な硬度変化の傾向を示した。

2. 1. 2 土壌の水ポテンシャル

地表面からの深さが10cm、30cm、50cmと深くなるほど、また攪乱の程度が大きいほど土壌の水ポテンシャルは高くなる傾向が見られた(図-6, 7, 8)。

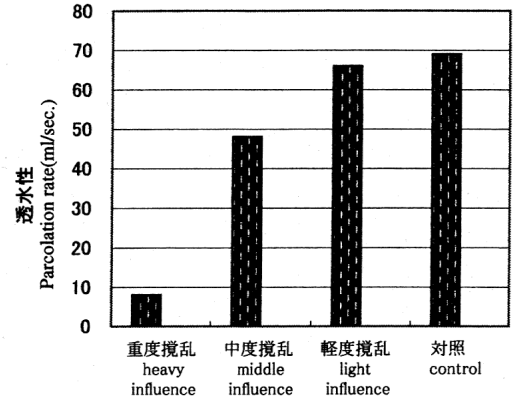


図-2 透水性
Fig. 2. Parcolation rate

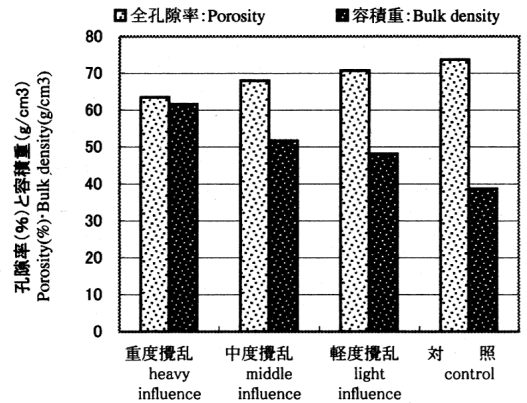


図-3 孔隙率(%)と容積重(g/cm³)
Fig. 3. Porosity(%) · Bulk density(g/cm³)

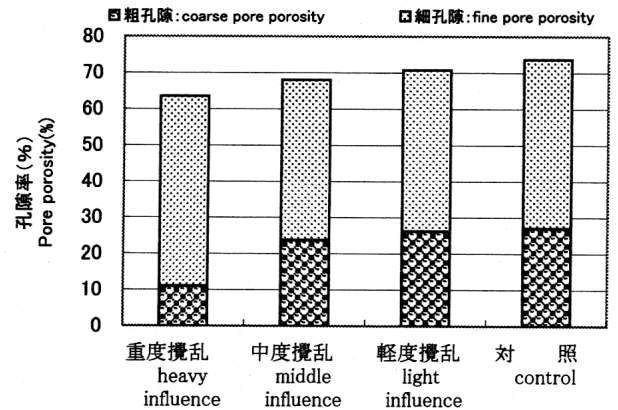


図-4 孔隙組成
Fig. 4. Pore porosity composition

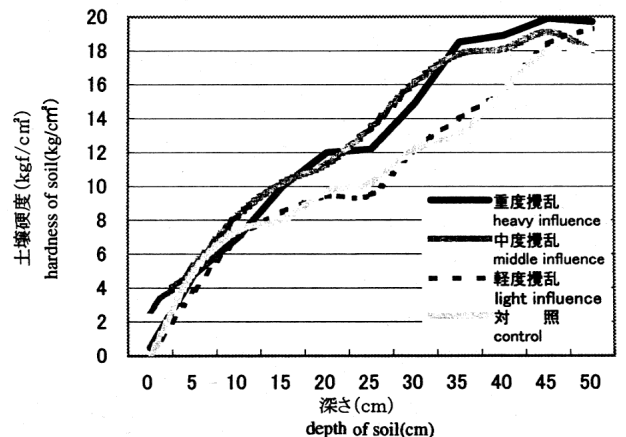


図-5 深さ別土壌硬度の変化
Fig. 5. Compactness of soil

森林土壌の水ポテンシャルは、土壌型や季節、降雨と
その後の乾燥経過により-1 kPa から-50kPa 前後 (pF
値では、1.0から2.7前後) の範囲内で変動することが知
られており⁸⁾、特に20mm程度以上のまとまった降雨後の
日数経過に伴う乾燥による変動が大きいことが今回の調
査でも確認出来た。盛岡地方気象台大迫観測所の観測値⁹⁾
によると、1999年5月27日に30mmの降雨があり、その後
6月16日から17日にかけて24mmの降雨があるまで19日間
まとまった降雨がなかった。その間の調査地の水ポテン
シャルを降雨の直後(5月28日)、5日後(6月2日)、18
日後(6月15日)に測定した結果、図-6に示すとおり、
特に地表面からの深さ10cmにおいては降雨直後には攪乱
の程度によらず-2.5kPa 前後であったが、5日後には
対照で-6 kPa を下回り、軽度および中度ではほぼ植
物の正常生育有効水分域の下限である-5 kPa から-
6 kPa であるのに対し、重度では18日後においても-
5 kPa を上回っていた。これらの調査結果から、攪乱
の程度によって降雨後の乾燥経過に伴う水ポテンシャル
の値の変動に違いがあることが明らかになった。

表-1 機械作業後に植栽した造林木の枯死と枯上がり
Table 1. Number of planted Sugi seedlings, dead seedlings and
percentage of dead ones

(単位: 本, %)

攪乱の程度 Influence of mechanized harvesting	調査対象本数 investigated numbers	枯死率 percentage of dead seedlings	下枝枯上がり率※ percentage of seedlings with dead branches in lower part
重度 heavy	31	9.7	16.1
中度 middle	87	1.1	6.9
軽度 light	152	0.0	1.3
対照 control	30	0.0	0.0

※枯上がり率: (枯上がりが見られる造林木本数)/(調査本数)×100



写真-1 下枝の枯れ上がりが見られた造林木
Photo. 1. Sugi seedling with dead branches in lower part

2. 2 造林木への影響

植栽後活着してから1年以内に枯死した個体の割合は、
表-1に示すように重度では沢筋を主体に9.7%、中度
では1.1%となっていた。枯死した苗木を掘り取って観
察したところ、細根の生長が見られず、根腐れを起こし
ていると考えられた。下枝の枯れ上がりが見られた個体
が重度、中度において多く観察された(写真-1)こと
から、その割合を調査した結果、対照では0.0%であ
ったのに対して、重度で16.1%、中度で6.9%、軽度で1.3
%であった。

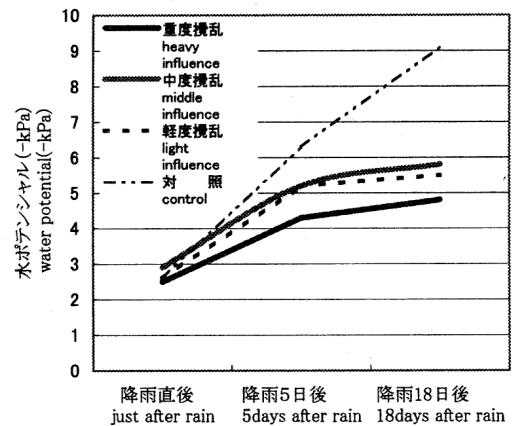


図-6 深さ10cmの水ポテンシャルの変化
Fig. 6. Water potential at a depth of 10cm

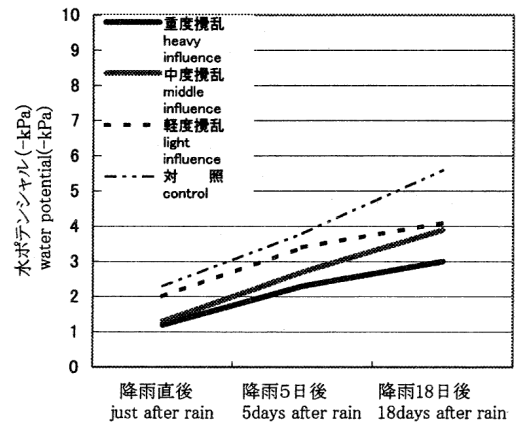


図-7 深さ30cmの水ポテンシャルの変化
Fig. 7. Water potential at a depth of 30cm

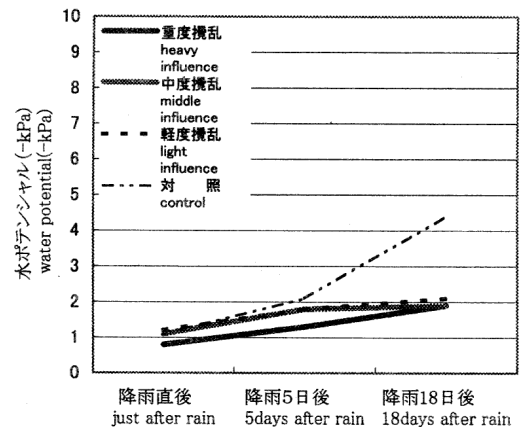


図-8 深さ50cmの水ポテンシャルの変化
Fig. 8. Water potential at a depth of 50cm

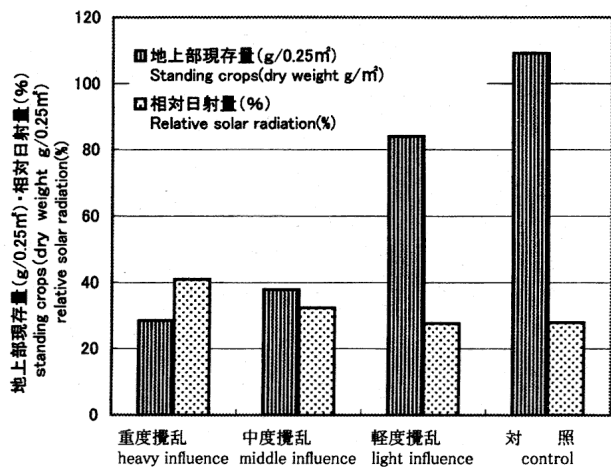


図-9 地上部現存量
Fig. 9. Standing crops

2. 3 植生の回復状況

試験実施後2年(2夏)経過した時点においても、攪乱の程度により植生の回復に明かな違いが見られた。植生の成長に大きく影響すると考えられた相対日射量は、重度で41%、中度で32%、対照、軽度で28%であった。一方植生の現存量は、対照を100%とすると、軽度で77%、中度で35%、重度で26%であり、機械が走行した箇所では明らかに少なくなっていた(図-9)。

3 考 察

機械走行により締め固められた土壌においては、機械的抵抗が大きくなるとともに土壌孔隙空間が小さくなるため、植物の根は、ストレスを受ける¹³⁾。特に雨が降り続く時期には、土壌の孔隙量の減少や土壌水分の増加によって土中と大気とのガス交換が不十分となり、根の呼吸が抑制され湿害が起こる^{12, 13)}。また、硬い土壌で生育した植物の根系は、浅根性となりやすく、そのような植物は生育期間全般にわたってストレスを受けやすい¹³⁾。

苜住¹⁰⁾は、非毛管孔隙量が極端に少ないカベ状構造のような土壌状態では、スギでは根系(特に細根)の発達が悪くなり、とくに過湿地では生長が悪いばかりでなく枯損衰弱することがあるとしている。また、宮崎¹¹⁾は、スギ苗木は、過湿な土壌において根の傷みから生理的な乾燥を起こし、下部から赤褐色になるとしている。

本調査地における調査結果から、機械作業による攪乱の程度が最も強い重度の攪乱箇所では、土壌硬度が増すとともに、特に根系の呼吸に関係すると考えられる粗孔隙が少なくなっていた。その結果、土中と大気とのガス交換が不十分となり、地表面から10cm前後の表層に集中している根系の呼吸が阻害されたことが要因となって、スギ造林木の枯死、衰弱、下枝の枯れ上がり等の生育障

害が生じたと考えられた。中度の攪乱箇所においても特に地表面から5cm前後までの表層の硬度が増していることから、表層土壌の硬度の増加に伴う機械的ストレスによって根の生長が妨げられるとともに、粗孔隙の減少に伴い根の呼吸が阻害されたことにより、下枝の枯れ上がりが生じたと考えられた。また、自然植生についても重度及び中度の攪乱を受けた箇所においては、木本の生育や再生が少なくなった結果、現存量が少なくなったと考えられた。降雨後の乾燥過程における表層土壌の水ポテンシャルは、締め固め、攪乱の程度が大きい箇所ほど高い値に留まり変動が小さい傾向が認められたことから、過湿な状態が長く続いたことを示している。表層土壌の水ポテンシャルの値の変動が、締め固め、攪乱による土壌の物理特性の変化、特に粗大な孔隙の減少による水分及び酸素供給の停滞を原因とする根系へのストレスの度合いをよく表していると考えられ、機械作業による土壌や更新への影響の評価因子として水ポテンシャルに着目していく必要がある。しかし、森林土壌の水ポテンシャルは季節や斜面の上下によっても異なる変動をすることが示されている⁸⁾ことから、今後さらに異なる林地条件や攪乱の程度の違いによる表層土壌の水ポテンシャルを継続して測定していく必要がある。

引用文献

- 1) 岩崎勇作ら(1978)トラクタによる林地破壊とその回復過程. 日林東北支講30:62-65.
- 2) 井上源基(1979)トラクタ集材作業における土壌の硬度. 日林関東支講30:25.
- 3) 猪内正雄(1982)トラクタ集材が伐採跡地に及ぼす影響(I)トラクタ走行による土壌の締固とカラマツ植栽苗木の成長. 日林誌64:136-142.
- 4) 山田健・佐々木尚三(1990)機械導入跡地における土壌攪乱. 101回日林論:667-668.
- 5) 西正敏・石橋公雄(1999)林業機械作業が林地土壌に及ぼす影響. 島根林技研報50:35-42.
- 6) 古谷士郎ら(1996)車両系伐出機械の走行による林内土壌の物理特性の変化. 107回日林論:449-452.
- 7) 対馬俊之ら(1995)機械走行から3年後の表層土壌の孔隙組成と立木の成長. 106回日林論:557-558.
- 8) 河田弘(1989)森林土壌学概論. 123pp, 博友社, 東京.
- 9) 盛岡地方气象台(1999)岩手県気象月報 平成11年6月. 12pp.
- 10) 苜住昇(1979)樹木根系図説. 153pp, 160pp, 191

pp, 誠文堂新光社, 東京.

11) 宮崎榊 (1971) 生産者のための育苗の原理と技術.

96pp, 全国山林種苗協同組合連合会, 東京.

12) 財団法人 日本緑化センター編 (1992) 樹木医の

手引き. 243-244, 財団法人日本緑化センター, 東京.

13) 根の事典編集委員会編 (1998) 根の事典234-235,

250-252, 朝倉書店, 東京.