

大形の車両系林業機械が林地に及ぼす影響 ——北海道の天然林における択伐作業の事例——

大里正一*・倉橋昭夫**・山本博一**・大橋邦夫***・
仁多見俊夫**・小笠原繁男**・井口和信**・
佐々木忠兵衛****

The Influence of Large-sized Wheel-type Forestry Machines on the Residual Forest Land —A case study of selection cutting operations on a natural forest in Hokkaido—

Shoichi OHSATO*, Akio KURAHASHI**, Hirokazu YAMAMOTO**,
Kunio OHASHI***, Toshio NITAMI**, Shigeo OGASAWARA**,
Kazunobu IGUCHI** and Chubei SASAKI****

はじめに

わが国の林業は材価の低迷, 労働者の高齢化, 労賃の高騰などにより, 生産性の向上が要請されている。現在, それらに対する最も有効な対応策の一つとして, 木材の収穫コストの低減と省力化のため, いわゆる「高性能林業機械」の導入が図られている。特に, 地形の緩やかな北海道では, 行政の積極的な指導ともあいまって, その傾向は著しい。国産材の効率的な収穫や健全な天然林の育成ならびに林業従事者の高齢化や作業の安全対策のためにはこのような機械の導入は避けて通れない状況にある。

しかし, 高馬力な機械で高速作業が行われる大形車両系機械による全木集材方式に代表される収穫作業は, 従来の全幹集材方式に比較して周囲の残存木や林床の植生に損傷を及ぼす危険性が高まることが考えられる。一方, 地表土壌の攪乱は, マイナス面ばかりでなく, ときには樹木の天然更新を助長するなどプラス面も考えられる。

このように大形車両系林業機械の導入による収穫作業の増加は, 森林にとって様々な問題を惹起している。しかし, 大形車両系機械に関する研究は, 作業効率に着目した生産工程に関する研究が多く, 機械走行による土壌の物理性への影響に関する研究はあるが(猪内ら, 1982; 対馬ら, 1993; 熊倉ら, 1994), 伐出後の更新や育林という森林に対する影響という観点から研究がされ

* 東京大学農学部附属演習林千葉演習林

University Forest in Chiba, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

** 東京大学農学部附属演習林北海道演習林

University Forest in Hokkaido, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

*** 東京大学農学部附属演習林研究部

Research Division of The University Forests, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

**** 元東京大学農学部附属演習林北海道演習林

Formerly, University Forest in Hokkaido, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

たものは少ない。大形車両系林業機械による伐出作業の促進を図るためには、プラス面だけでなくマイナス面の実態も明らかにし、その結果を踏まえて収穫と更新の調和のとれた作業体系を確立する必要がある。

筆者らは、北海道内の天然林に調査地を設け大形のフェラーバンチャおよびグラップルスキッドによる択伐作業および全木集材作業が林地、残存木、天然更新、植生などに与える影響について伐採時とその後4年間にわたり継続的に調査を行ったので(倉橋ら, 1993; 大里ら, 1992; 大里ら, 1994; 山本ら, 1992), その結果について報告する。

なお、現地調査にあたり三津橋産業株式会社および旭川管林支局幾寅管林署各位のご協力を得た。心よりお礼を申し上げます。

調査の方法

1) 調査地の概況

調査地は、旭川管林支局幾寅管林署管内奥落合国有林 47 林班に小班である。標高は 750~780 m, 地形は図-1 に示すような北北東向きで 0~23°の緩傾斜の凸地形である。林相は、エゾマツ、トドマツ、ダケカンバが優占する亜寒帯針葉樹林で、地表はクマイザサが密生している。エゾマツ、トドマツの更新後継樹は、腐朽倒木・根株を中心に偏って分布しており、伐根の状況から過去 2 回の択伐が行なわれたとみられる。

2) 残存林分の状況进行评估するための調査プロットの設定

伐出作業前の状況を記録するために、図-1 の 1~4 に示す位置に 60 m×10 m の帯状プロットを 60 m 間隔で 4 箇所設置し、プロット内の樹高 1.3 m 以上の全ての生立木を対象に樹木位置図

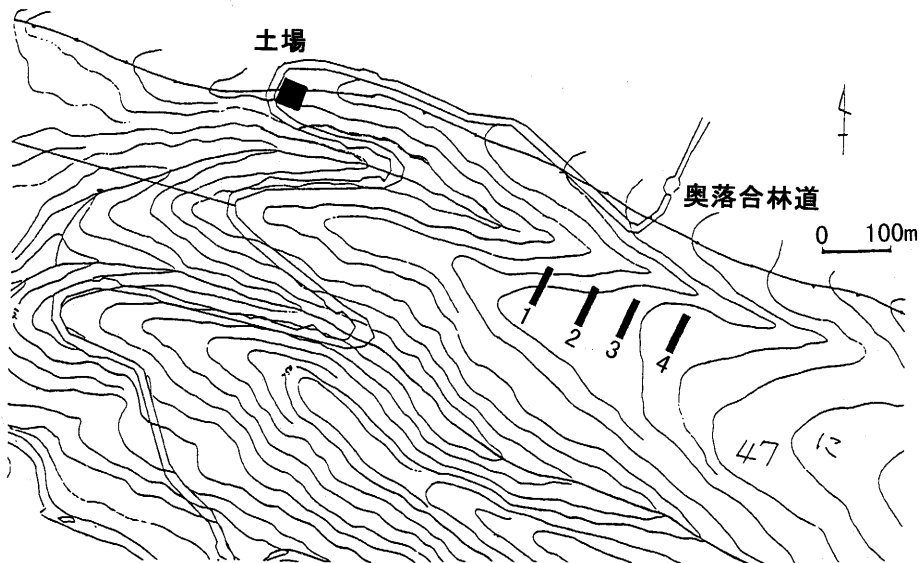


図-1 調査プロットの位置。

Fig. 1. Location of research plots.

を作成した。二方向の胸高直径を測定するとともに、調査木の樹高を測定した。さらに、伐採予定木のクローネ径を測定した。

3) 伐倒集材作業の方法

伐倒集材方法は、フェラーバンチャ（ティンバージャック社製 2520）とグラップルスキッド（ティンバージャック社製 480B）による全木集材である（表-1）。伐倒および集材はすべてオペレータにまかせ通常作業とした。

プロット内の全木材は、調査プロット 1 の北斜面の勾配が大きいいため、調査プロット 4 の方向に集材し、更に調査プロット 4 の後方の比較的勾配の小さい沢を横断して、北側の尾根の南斜面に開設された作業道を経て土場に集材した。

4) 伐出跡地図の作成

調査地はクマイザサが林床一面に密生しているので、プロット内をフェラーバンチャが走行したり、伐採予定木がフェラーバンチャによって伐倒されたり、グラップルスキッドが集材のために走行したりすると、クマイザサが押し倒され走行跡や倒木跡が残る。従ってそれらを利用して走行跡地や倒木跡地を樹木位置図に作図することとした。ただし、グラップルスキッドによる全木集材作業が始まると、フェラーバンチャ走行跡地や倒木跡地の大部分は、グラップルスキッドの実車走行により、実車走行跡地が形成されるので見当たらなくなる。そこで筆者らは、グラップルスキッドによる全木集材作業後の跡地を a) フェラーバンチャ走行跡地、b) 伐採木の倒木跡地、c) グラップルスキッド空車走行跡地、d) グラップルスキッド実車走行跡地、e) グラップルス

表-1 使用機の主要仕様

Table 1. Specifications of operated machines

フェラーバンチャ Feller buncher		
項目	Item	Specification
全長	Overall length	5,128 mm
全幅	Overall width	3,002 mm
全高	Overall height	4,208 mm
総重量	Total weight	24,000 kg
エンジン出力	Engine horsepower	174PS/2200 rpm
最高走行速度	Maximum travel speed	4.7 km/h
履帯幅	Track shoe width	600 mm
接地圧	Ground preasure	0.5 kg/cm ²
グラップルスキッド Grapple skidder		
項目	Item	Specification
全長	Overall length	8,210 mm
全幅	Overall width	3,045 mm
全高	Overall height	3,226 mm
総重量	Total weight	15,790 kg
エンジン出力	Engine horsepower	177PS/2500 rpm
最高走行速度	Maximum travel speed	41.8 km/h
足回り装置	Undercarriage	ホイール式 wheel

キッタ実車走行跡地の中で集材道化した跡地、の5つに分類して、それらの跡地の形状を樹木位置図に記入し、伐出跡地図を作成した。

5) 残存木の評価

損傷の発生時点を伐採と集材に分けるため、フェラーバンチャの伐倒作業にともなう残存木への影響を記録した後、集材作業を行ない、再度、残存木の損傷状況を調査した。

残存木の損傷状況を評価するために、致命的損傷、部分的損傷、影響なしの3段階の評価基準を設けた。致命的損傷とは、行方不明、根倒し、根返り、中折れ、元折れ、引き抜きなど枯死したとみなすことのできるもので、部分的損傷とは、大形車両系林業機械または伐倒木によって形成層の一部が傷つけられたり傾斜したもので、すぐに枯死することはないが、今後の生育に影響を受けるとされるものである。なお、残存木の傷については地上高、長さ、最大幅を測定した。引き続き、伐出1年後の1992年7月以降1995年6月まで4回にわたり、毎年6月下旬から7月上旬頃に、胸高直径10cm以上の残存木を対象に健全度を評価するため着葉量と葉の黄化程度について10段階評価により調査した(山本ら, 1991)。

6) 更新状況を評価するための調査プロットの設定

伐出跡地における植生回復と天然更新の状況を調査するため、林地の攪乱程度を考慮して、带状プロット(60m×10m)内とその周辺に約25m²を標準とした調査プロットを12カ所設定した。ただし、調査プロットは車両の走行幅にあわせて場所によって多少の長短がある。なお、伐出後にブルドーザの排土板によって幅3m、長さ約60mの「地がき」に相当するササ根系の除去が行われた所が带状プロットの周辺にあったので、「地がき」として全木集材作業による地表攪乱と比較するため対照に加えた。

ア) 集材直後の地表調査

集材直後の1991年8月に伐採による地表の変化をクマイザサの被度、土壌の露出度および車両跡の深さを指標として調査した。調査プロットごとにクマイザサの被度は伐出作業によって葉・茎がすりきれた不正常なものとそれ以外の正常なものとを区別して6段階に分け、5: 75~100%, 4: 50~75%, 3: 25~50%, 2: 10~25%, 1: 1~10%, +: 1%以下、の基準によって表した。土壌の露出度は伐出作業によってむき出しになった土壌の面積割合をササ被度と同じ基準で示す。車両跡の深さは最深長を測った。

イ) 1年後から4年後までの植生・更新調査

調査は伐出1年後の1992年7月から始め、4年後の1995年6月まで毎年6月下旬から7月上旬に実施した。調査プロットごとに出現する高さ150cm以下の植物名と被度および最大のものの高さを記録した。被度は上記の基準によって表すこととした。ほかに各プロット内に1mの方形枠を設けて伐出後に発生した稚苗の本数を数えた。

結果と考察

1) 調査林分と伐採木の状況

調査林分の伐採前の状況は表-2のとおりである。調査木本数は210本で樹種別の内訳はトドマツ65本、エゾマツ46本など針葉樹が54%を占める。広葉樹はダケカンバ37本、オガラバナ

表-2 調査林分の伐採前の林分構造

Tablr 2. Stand structure of the research site before cutting

径級区分 D.B.H. classes	本数 Number of trees			材積 (m ³) Stem volume		
	N	L	計	N	L	計
副木 (~4 cm)	29	88	117	—	—	—
小径木 (6~24 cm)	37	3	40	4.62	0.06	4.68
中径木 (26~38 cm)	23	1	24	16.83	0.83	17.66
大径木 (40 cm~)	24	5	29	44.89	17.65	62.54
合計	113	94	210	66.34	18.54	84.88

注) N: 針葉樹 conifers L: 広葉樹 broad-leaved trees.

27本, コヨウラクツツジ 20本であるが, そのうちの94%は副木(胸高直径4cm以下)で, 6cm以上では針葉樹が90%を占める。副木を除いたha当り立木本数は387本となり, 立木密度は疎であるといえる。また, 大径木(40cm以上)の本数の割には小径木(6~24cm), 中径木(26~38cm)が少ない林分である。蓄積をha当りに換算すると354m³と高い値になる。これは比較的立木本数の多い所を調査地を選んだこともあり, 周辺の林分よりやや高い蓄積となっている。蓄積の78%は針葉樹が占め, 大径木が蓄積の74%を占めている。広葉樹は5本の大径木が広葉樹材積の95%を占めている。

樹木の配置状況は図-2に示すとおりで, 上層をしめる針葉樹中大径木は直線的に並び, 広葉樹小径木は孔状地に集団的に成立していることが認められた。これはそれぞれの樹種特性に応じた

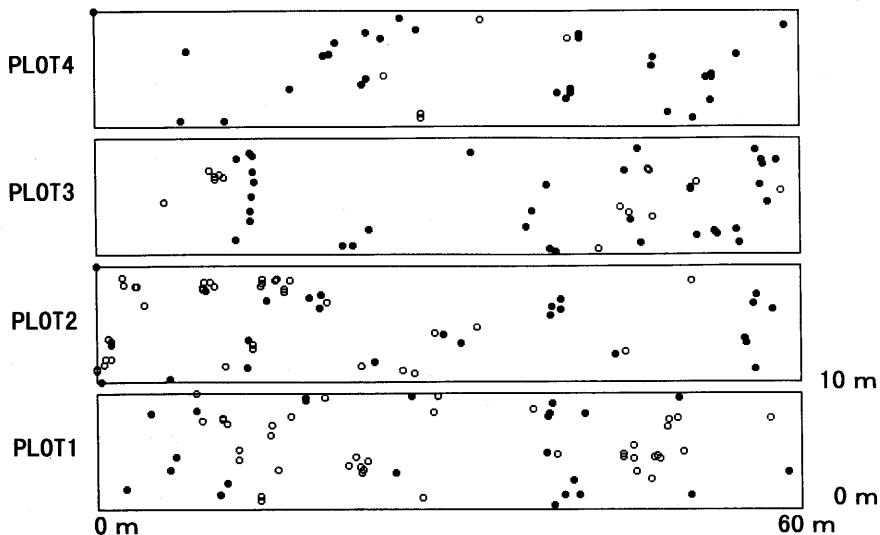


図-2 調査木の樹木位置図.

Fig. 2. Location of reserch trees.

注) ●: 針葉樹, ○: 広葉樹.

Note ●: conifers, ○: broad-leaved trees.

表-3 伐採木の樹種および径級構成

Table 3. Species and diameter class composition of felled trees

径級区分 D.B.H. classes	本数 Number of trees			材積 (m ³) Stem volume		
	N	L	計	N	L	計
副木 (~4 cm)	0	0	0	—	—	—
小径木 (6~24 cm)	0	0	0	0	0	0
中径木 (26~38 cm)	2	0	2	1.98	0	1.98
大径木 (40 cm~)	20	1	21	39.45	4.14	43.59
合計	22	1	23	41.43	4.14	45.57

注) N: 針葉樹 conifers L: 広葉樹 broad-leaved trees.

更新形態によるものである。

伐採木の状況は表-3のとおりである。伐採木本数 23 本は調査木全体の 11% に当たる。樹種別の内訳はトドマツ 10 本, エゾマツ 11 本, アカエゾマツ, ダケカンバ各 1 本である。伐採木の胸高直径は 38 cm~66 cm で, 91% が胸高直径 40 cm 以上の大径木である。大径木で伐採されなかったのは 8 本だけである。伐採材積は調査林分全体の 54% に相当し, かなり強度の択伐であるといえる。なお, 伐採木の樹高は 21~28 m (平均 25.5 m), クローネ径は 5~14 m (平均 8.2 m) である。このうち最大値を示したのはダケカンバで, 他の針葉樹のクローネ径は 10 m 以下であった。

2) 伐倒集材作業跡地の状況

プロット内の全木材をグラップルスキッドにより集材した後, 集材跡地周辺の立木より跡地までの距離を測定して, その測定値を基に伐出跡地図を各プロット毎に作成した。図-3 は, プロット 1~4 の伐出跡地図を示したものである。

プロット 1~4 の伐出跡地図より, フェラーバンチャ走行跡地, 伐採木による倒木跡地, グラップルスキッド空車走行跡地, グラップルスキッド実車走行跡地, グラップルスキッド実車走行跡地の中で集材道化した跡地および非走行地の面積をデジタイザーを用いて求めた。その結果は, 表-4 に示すとおりである。

表-4 より伐出作業にかかわった跡地の総面積は 1,350.8 m² で, プロット総面積の 56.3% を占めていることがわかる。そのうちグラップルスキッドの実車走行によって生じた跡地面積 (集材道化した跡地面積も含む) は 1,237.2 m² で, プロット総面積の 51.5% を占めている。この面積は伐出跡地面積の 91.6% に相当する。

フェラーバンチャによる伐倒は, オペレータが運転席より伐採予定木に打ちつけられたナンバーテープ (縦 2 cm, 横 5 cm) を探しながら伐倒していく方法をとっていた。この作業方法はオペレータにとってナンバーテープは小さく, しかも固定した位置も胸高の高さであるため見付けにくく, 無駄な走行がみられた。この点については対馬らも指摘している (浅井ら, 1990; 対馬ら, 1990)。

フェラーバンチャ走行跡地は, クマイザサが押し倒される程度で, 特に旋回しない限り大きな林地の攪乱は見られなかった。4 つのプロット内での総走行距離は 175.9 m で, 特にプロット 2

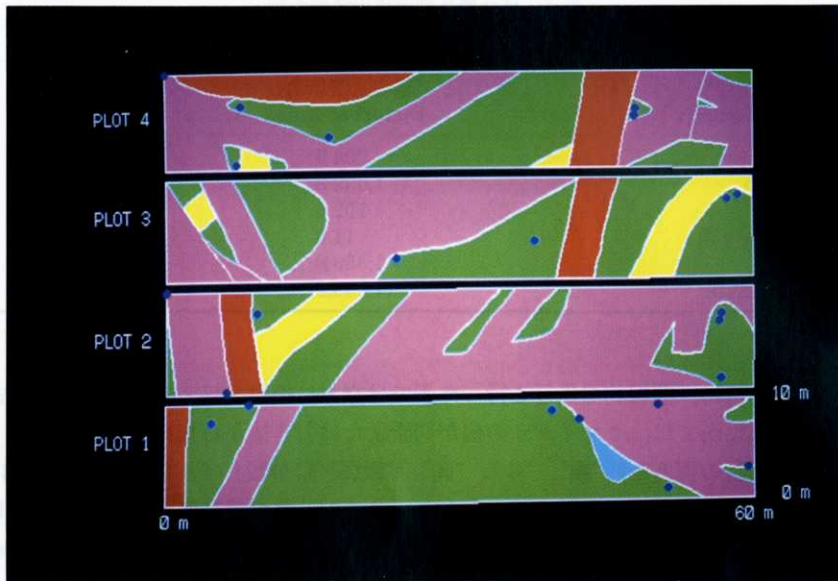


図-3 伐出跡地図.

Fig. 3. Disturbed area map by logging operation.

注) 赤: 集材直化, 紫: スキッタ走行跡地, 黄: フェラーバンチャ走行跡地, 水: 伐倒木によるササ
倒れ, 緑: 攪乱なし, 青丸: 伐倒木.

表-4 原因タイプ別伐出跡地面積

Table 4. Disturbed area by logging operation of each disturbance type

跡地 Type of disturbance	跡地面積 (m ²) Disturbed area	割合 (%) Percentage
フェラーバンチャ走行跡地	56.6	2.4
伐採による倒木跡地	11.0	0.5
グラップルスキッタ空車走行跡地	46.1	1.9
グラップルスキッタ実車走行跡地	1,032.3	43.0
グラップルスキッタ実車走行集材道化跡地	204.9	8.5
計	1,350.8	56.3
(非走行地)	(1,049.2)	(43.7)

内で大きな値を示した。これはプロット 2 の中央部に伐倒に直接関係なく、単に通過した軌跡があるためと考えられる。グラップルスキッタによる集材を行う前に計測したフェラーバンチャの走行跡地面積は 366.3 m² で、プロット総面積の 15.3% を占める。走行距離 175.9 m と車幅 3002 mm から求められる延べ走行跡地面積は 528.1 m² であることから、差し引き 161.8 m² に相当する面積で重複したことになる。

グラップルスキッタによる全木集材は、1 回当たり 3~4 本をグラップルで把持して走行するため、枝の接地幅はグラップルスキッタの車幅よりも広く、従って立木に損傷を与えることも多く、

表-5 林地攪乱度別伐出跡地面積

Table 5. Disturbed area by logging operation of each disturbance intensity

攪乱度 Disturbance intensity	跡地面積 (m ²) Disturbed area	割合 (%) Percentage
強 strong	204.9	8.5
中 medium	1,032.3	43.0
弱 weak	102.6	4.3
微弱 very weak	11.0	0.5
計 total	1,350.8	56.3
(なし) nothing	(1,049.2)	(43.7)

林地も攪乱した。特に、曲線的な走行を行った所では立木に損傷を与えることが多く、また、繰り返し走行を重ねた所では、クマイザサの根が切断または引き抜かれ集材道化した。

そこで林地の攪乱の程度を、“強”、“中”、“弱”、“微弱”に分類して、プロット総面積に対する各々の面積の占める割合を調べて見ることにした。表-5は、林地攪乱度別跡地面積を示したものである。“強”とは集材道化した跡地で、その面積は204.9m²で、プロット総面積の8.5%を占めている。“中”とはグラップルスキッド実車走行跡地で、その面積は1,032.3m²で、プロット総面積の43.0%となっている。“弱”とはフェラーバンチャ走行跡地およびグラップルスキッド空車走行跡地で、“微弱”とは伐採木の伐倒跡地である。これらの“弱”、“微弱”に当たる面積は113.6m²で、プロット総面積の4.8%となっている。この表より林地攪乱面積の割合が最も大きいのは“中”であることがわかる。

3) 伐出後の残存木の状況

ア) 伐出直後の状況

残存木の状況は表-6のとおりである。伐採木を差し引いた伐採後の本数は187本である。このうち、致命的損傷を受けたものは67本で残存木本数の36%、部分的損傷を受けたものは33本で18%である。残りの87本(46%)は伐採の影響を全く受けていない。致命的損傷を受けた残存木の79%は副木で、18%が小径木、中径木は僅かに3%である。したがって、致命的損傷を受けた残存木の本数の割には材積は小さく、調査木全体の3%にすぎない。一方、部分的損傷

表-6 残存木の損傷状況

Table 6. Damage of residual trees

(単位: 本: number of tress)

径級区分 D.B.H. classes	致命的損傷 Fatal damage			部分的損傷 Partial damage			影響なし No damage		
	N	L	計	N	L	計	N	L	計
副木 (~4 cm)	12	41	53	1	7	8	16	40	56
小径木 (6~24 cm)	11	1	12	4	1	5	22	1	23
中径木 (26~38 cm)	2	0	2	14	0	14	5	1	6
大径木 (40 cm~)	0	0	0	3	3	6	1	1	2
合計	25	42	67	22	11	33	44	43	87

を受けたもののうち 61% に当たる 20 本は中・大径木で副木は 24% である。中・大径木の割合が多いため、部分的損傷木の材積は調査木全体の 28% に相当する。また、伐採の影響を受けていない樹木の材積割合は調査木全体の 16% である。しかし、その本数割合は小径木では 56% (23/40) であるのに対して、中径木では 25% (6/24)、大径木では 7% (2/29) と直径が大きくなるにつれて低くなる。

致命的損傷の内訳は、行方不明のものが 28 本、根倒し・根曲がり・根返りの状態のものが 25 本、中折れ・元折れのものが 10 本、大形車両系林業機械によって引き抜かれたものが 4 本であり、これらはすべて枯死しているものとみなされる。部分的損傷の内訳は、根元または幹に傷を受けたもの 24 本、傾斜したもの 9 本である。傷の位置は地上高 1 m 以下が 71% を占めており、これらはフェラーバンチャの移動および集材作業によって生じたものと見られる。2 m 以上の位置の傷は 3 本観察された。これらは伐倒木によって生じたものと見られる。

同様の大形車両系林業機械を用いた調査によると、致命的損傷木は残存木の 8% しか発生していない (浅井ら, 1990)。これは調査対象木の直径を 10 cm 以上としたためで、この基準にしたがえば本調査地においても 12% となる。しかし、筆者らの調査目的は伐出作業後の更新状況にあるので 10 cm 未満の立木についても損傷状況調査を行なった。

損傷の発生時点を伐倒時と集材時に分けることができる (表-7)。損傷木の合計本数は 100 本であるが、このうち伐倒時と確認できるものは致命的損傷が 31 本、部分的損傷が 10 本で計 41 本である。ただし、致命的損傷木の一部にはこの時点では致命的な損傷ではなく、集材の段階で致命傷に至ったものがある。また、伐倒後の時点では影響を受けていない残存木の割合は 78% であるが、集材後には 46% となる。

表-7 伐採木からの距離による残存木の損傷状況

Table 7. Damage of residual trees in each distance classes from felled tree
(単位: 本: number of trees)

損傷区分 Damage level	伐採時 Damaged by felling				集材時 Damaged by skidding			
	最寄りの伐採木からの距離 Distance from the nearest felled tree				最寄りの伐採木からの距離 Distance from the nearest felled tree			
	5 m >	6~10 m	11 m <	Total	5 m >	6~10 m	11 m <	Total
致命的損傷 Fatal damage								
行方不明	7	3	2	12	9	5	2	16
根倒しなど	6	0	3	9	6	10	0	16
中折れなど	3	3	0	6	2	2	0	4
引く抜き	4	0	0	4	0	0	0	0
小計	20	6	5	31	17	17	2	36
部分的損傷 Partial damage								
根元・幹傷	2	4	2	8	5	7	4	16
斜め	1	1	0	2	2	4	1	7
小計	3	5	2	10	7	11	5	23
損傷木累計	23	11	7	41	47	39	14	100
影響なし	43	66	37	146	19	38	30	87
合計	66	77	44	187	66	77	44	187

伐採木からの距離による残存木の状況を表-7に示す。致命的損傷を受けたもののうち行方不明は2~7mの所に多く、根倒しなども2~8mの所に多い。引き抜きはすべて伐倒時に発生しており2m以内に集中している。これに対して、伐倒の際に生じる中折れなどは1~10mの範囲に分散している。これは損傷の原因が大形車両系林業機械ではなく伐倒木であり、伐採木の樹高が20m以上あるため広範囲に損傷が及ぶものと考えられる。伐採木から5m以内に残存木本数の35%にあたる66本があったが、このうち37本が致命的損傷を受けており、伐倒時に損傷を受けたものが54%を占める。部分的損傷を受けたものは10本で、このうち集材時に損傷を受けたものは7本である。伐倒の影響を受けていないものは19本である。伐採木から6~10mの所には残存木の41%にあたる77本があったが、このうち23本が致命的損傷を受けており、伐採木から5m以内とは異なり集材時に損傷を受けたものが74%を占める。伐倒または集材作業によって部分的損傷を受けたものは16本で、集材時のものが69%を占める。伐倒の影響を全く受けていないものは38本であった。ここでは、5m以内と比較して致命的損傷を受けたものの割合が低くなっている。11m以上離れた所には残存木の24%にあたる44本があったが、影響を受けていない木は30本でその割合は68%である。ここで致命的損傷を受けたものは7本であるが、このうちの2本は集材によるもので、5本は伐倒時におけるフェラーバンチャの移動によるものである。

残存木の多い林内を走行しながら伐採、搬出作業を行う択伐作業においては、作業時に残存木に車体や集材木が接触し、それらを損傷する。車両と立木が接触することは、立木の密度が大きいほど、車両が大きいほど頻繁に発生する。ある広がり F の中で、長さ L_0, L_1 の2つのものが接し、交わる確率 P は、定点 Q を含む図形 K 内における2つの線分の交点 n の測度 η を与えるポアンカレの式(栗田, 1956),

$$\eta = \int_{Q \in K} ndK = 4L_0L_1$$

および定点 Q を含む図形 K (面積 F)の位置の測度,

$$\Omega = \int_{Q \in K} dK = 2\pi F$$

から,

$$P = \frac{\eta}{\Omega} = \frac{2L_0L_1}{\pi F}$$

で与えられる(仁多見, 1985, 1986)。さらに、ここで L_0 を車両の対象地内での走行距離、 L_1 を残存立木の半径と車両幅の1/2を足した長さを半径とした障害物周囲長を対象地内のすべての立木について足しあわせたものとし、 P をさらに L_0 で除すことによって、車両の走行距離当たりの立木との遭遇頻度 E が計算できる。

$$E = \frac{P}{L_0} = \frac{2L_1}{\pi F}$$

立木密度を200~1000本/ha、車両の幅を2.0~3.5m(ゆとり幅0.5mを含む)で変化させた際の遭遇間隔 $1/E$ の期待値を図-4に示す。図は立木密度が387本/haの際に、蓄積が354 m^3 /haというように調査林分と同じ条件である。

ここでは、立木が伐採されない状態で林内に進入し、特定の立木を選んで伐採を行うという制約なしに林内を走行しながら、立木との遭遇、回避を繰り返す伐倒用車両フェラーバンチャを対

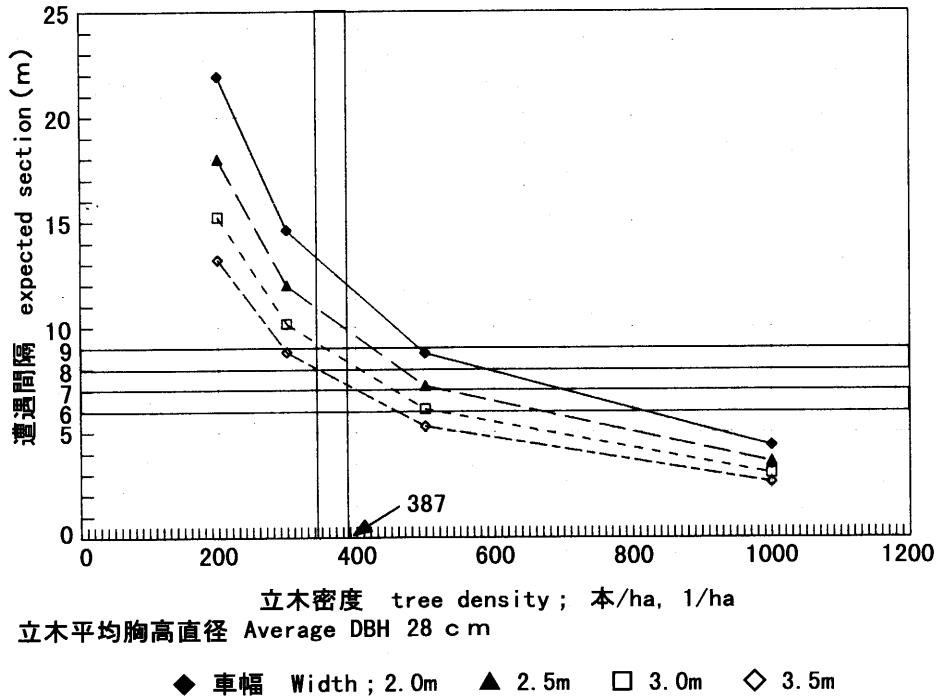


図-4 立ち木密度と車輛の遭遇間隔の関係。
Fig. 4. Tree density and expected section between trees which a vehicle will encounter.

象として車両と立木の遭遇について考える。例えば、車幅が2.5 mの車両は、立木密度が200本/haの林分では、平均して18 mに1回立木と遭遇することが期待され、実際はその木が伐採木なら伐採し、そうでなければ迂回する。

車両の大きさ、とくに前後方向の長さをさらに考慮すると、図中に、遭遇間隔の軸方向に、十分車両が入る大きさの空間が必要である。調査地で使用された車両は、車両の長さが5182 mmで(表-1)、その上部には長いクレーン部があり、大きなゆとり空間がないと車両は自由に走行移動できないので、全長として9 m程の空間が必要であると考えることができ、その際は、幅約3.5 mの車両は300本/ha強程度の立木密度の林分でなければ、走行可能な空間が得られない。今回、作業評価の行われた林分は、それよりも立木本数が多かったのであり、用いられた車両はその対象地には大きすぎたと言えよう。

図からその差は、遭遇間隔は約17%、立木密度は約90本/haで初期立木本数の23%であり、その過大な分の立木が損傷の発生を助長したと言えよう。これがゆとり幅を含んで幅3.0 mの車両では遭遇間隔の過大分は約6%、立木密度では約30本/ha、初期立木本数の8%となり、当該車両の林内走行によって発生すると期待される接触による立木の損傷は軽度になる。

調査林分では、胸高直径6 cm以上の調査木で、立木93本(密度387本/ha)のうち、伐倒作業時に18本(75本/ha)が損傷をうけた。これらには伐倒作業における伐倒木との接触などによる損傷も含まれるが、その本数の初期本数に占める比率は19%である。この割合はゆとり幅

を含んで車両走行に必要な幅を 3.5 m とした場合に円滑な林内走行ができる立木密度を調査林分の立木密度が上回る比率に近い。車幅の大小は支障木の発生程度に影響し、とくに立木密度が 400 本/ha 弱程度の調査林分のような林況においては、支障木の発生に影響する立木本数の過大分は、車幅 2.5 m と 3.0 m (ゆとり幅 0.5 m を含むとそれぞれ 3.0 m, 3.5 m) では、推計値で初期立木本数の 8% と 23% と大きく異なる。この程度の立木密度においては、車幅の 2.5 m から 3 m への拡大が立木との接触による林分への影響程度に大きな違いを生み出すと考えられる。

イ) 風倒木の発生状況

調査地は北西向きの緩傾斜の凸地形であるため、冬季に北西方向からの季節風の影響を受けやすい。さらに、1991 年の伐採によって上層を占める中・大径木の多くが伐採されたため、残存した中・大径木が受ける風圧は伐採前よりも高まったものと考えられ、1992 年から 1993 年の調査の間に 8 本、伐採前の蓄積の 11% にあたる 9.34 m³ の風倒木が発生している。これらの風倒木はいずれも大形車両系林業機械または伐倒木によって部分的損傷を受けた樹木であり、すべて南東方向に倒れていた。これらの風倒木のうち 5 本は、損傷箇所から腐朽菌が入り、強度の弱った地上高 2~10 m の幹の部分で中折れの状態である。残りの 3 本は特に弱った部分が発生したわけではなく、根が地上部分にかかる風圧を支えきれずに倒れたものである。1991 年の伐出時に根元または幹に傷を受けた中・大径木 20 本のうち 6 本が風倒木となっている。

ウ) 残存木の健全度

残存木 112 本のうち胸高直径 10 cm 以上の 47 本について毎年の健全度を判定した (表-8)。このうち 8 本は風害により枯死したため、39 本について評価する。着葉量と葉の黄化程度の 10 段階評価が 6 点以下で「衰弱」と判定された樹木は 30 本で、評価対象木の 77% にあたる。材積は 15.05 m³ で伐採前の林分蓄積の 18% にあたる。また、トドマツ 1 本は 1993 年から 1994 年の調査の間に枯死した。現在の生存木のうち、トドマツは 18 本中 14 本、エゾマツ 18 本中 15 本、アカエゾマツは 1 本中 1 本が「衰弱」と判定されたが、ダケカンバは 4 本すべてが「健全」と判定された。エゾマツ・アカエゾマツを始めとする陰樹の針葉樹は強度の択伐によって風通しが良くなったため、水分条件の変化と風圧の高まりに敏感に反応し、大半の個体が衰弱することがわかった。これに対して陽樹のダケカンバは環境の変化による影響は外見上は認められなかった。

特に、根元または幹に傷を受けた針葉樹では生存木 16 本のうち 14 本が「衰弱」と判定されており、今後、劣化した部分に強い圧力が加えられた場合、新たに風倒木の発生する可能性が高い。

4) 伐採跡地の植生変化および更新状況

ア) 伐出直後の地表の状況

調査プロットの伐出直後の地表の状況は表-9 に示したとおりである。林地の攪乱度は、2) 伐倒集材作業跡地の状況に示した走行跡地の分類に基づいた。それぞれのプロットに示した林地の攪乱度をササの被度と土壌の露出度によってみると、次のとおりであった。

自然林地は非走行地で高さ 140 cm のクマイザサが密生している。攪乱度の「弱」においては、正常なササが 25% 以下となり、不正常なササが 10~100% を占めている。土壌の露出度は 1~50% となっている。グラップルスキッド空車走行跡地でササが少なく、土壌がより多く現れている。「中」では正常なササが 0~10% となり、不正常なササが 10~50% を占めている。土壌の露

表-8 伐採4年後の残存木の健全度

Table 8. Health evaluations of residual trees four years after logging operation

樹種 Species	胸高直径 D.B.H.	伐採直後 Directly	伐採4年後 Four years
トドマツ	42.96 cm	影響なし	衰弱
トドマツ	35.60	影響なし	枯損
トドマツ	31.85	影響なし	衰弱
トドマツ	31.25	影響なし	衰弱
トドマツ	29.40	影響なし	健全
トドマツ	21.30	影響なし	衰弱
トドマツ	20.20	影響なし	衰弱
トドマツ	16.20	影響なし	健全
トドマツ	14.45	影響なし	衰弱
トドマツ	13.70	影響なし	衰弱
トドマツ	9.65	影響なし	健全
トドマツ	37.15	幹傷	衰弱
トドマツ	30.40	幹傷	衰弱
*トドマツ	37.05	幹傷	衰弱
*トドマツ	34.50	根元・幹傷	衰弱
*トドマツ	30.75	根元・幹傷	風倒
トドマツ	36.20	根元傷	衰弱
トドマツ	23.50	根元傷	衰弱
*トドマツ	36.00	根元傷	衰弱
トドマツ	28.05	根元傷	風倒
トドマツ	30.95	根元傷	健全
*トドマツ	21.85	斜め・幹傷	風倒
エゾマツ	30.90	影響なし	衰弱
エゾマツ	24.30	影響なし	衰弱
エゾマツ	23.35	影響なし	衰弱
エゾマツ	22.55	影響なし	衰弱
エゾマツ	22.35	影響なし	衰弱
エゾマツ	19.60	影響なし	衰弱
エゾマツ	17.95	影響なし	衰弱
エゾマツ	14.10	影響なし	衰弱
エゾマツ	9.65	影響なし	衰弱
エゾマツ	19.20	影響なし	健全
エゾマツ	18.90	影響なし	健全
エゾマツ	35.85	幹傷	衰弱
*エゾマツ	17.75	幹傷	衰弱
エゾマツ	33.00	幹傷	風倒
エゾマツ	14.10	幹傷	風倒
*エゾマツ	25.25	幹傷・中折	衰弱
*エゾマツ	23.15	根元・中折	衰弱
エゾマツ	40.10	根元傷	衰弱
エゾマツ	35.55	根元傷	衰弱
エゾマツ	39.25	根元傷	風倒
エゾマツ	32.55	根元傷	風倒
*エゾマツ	49.90	斜め・根元傷	健全
アカエゾマツ	31.45	幹傷	衰弱
ダケカンバ	71.60	影響なし	健全
ダケカンバ	34.65	影響なし	健全
ダケカンバ	43.85	根元・幹傷	健全
ダケカンバ	41.70	根元傷	健全
*ミズナラ	73.10	幹傷	風倒
ナナカマド	10.95	影響なし	健全

*印は伐採時にフェラーバンチャの影響を受けたことを示す。

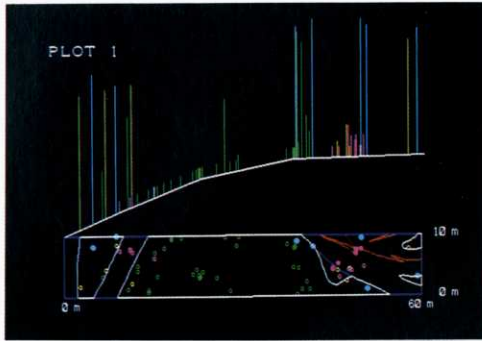


図-5 調査対象木の位置および損傷状況 (PLOT1).

Fig. 5. Location of research trees and damage intensity (PLOT1).

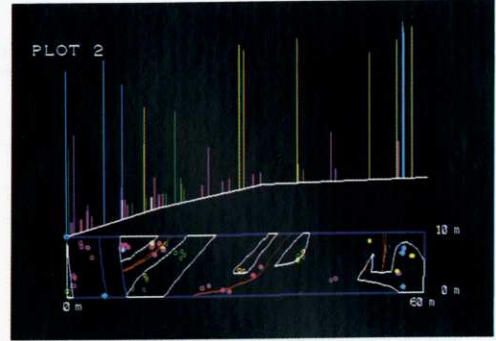


図-8 調査対象木の位置および損傷状況 (PLOT2).

Fig. 8. Location of research trees and damage intensity (PLOT2).



図-6 伐採にともなう損傷木と集材にともなう損傷木 (PLOT1).

Fig. 6. Location of damaged trees caused by felling and by skidding.

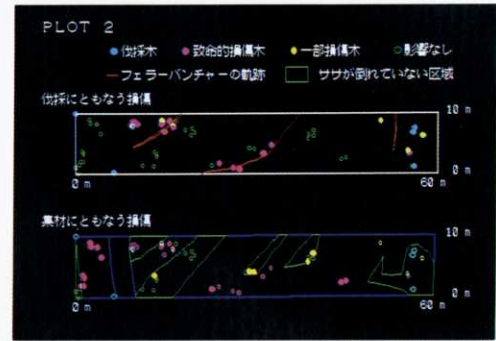


図-9 伐採にともなう損傷木と集材にともなう損傷木 (PLOT2).

Fig. 9. Location of damaged trees caused by felling and by skidding.

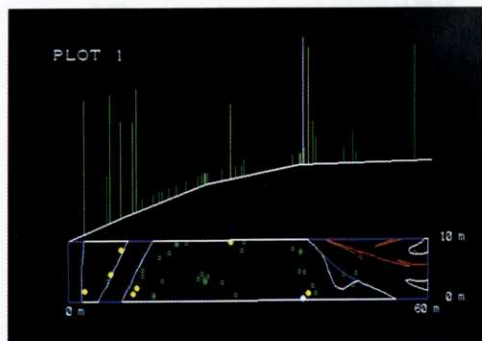


図-7 伐採4年後の残存状況 (PLOT1).

Fig. 7. Location of dead or declined trees four years after cutting.

注) 赤丸: 風倒木, 黄丸: 衰弱木, 白丸: 枯損木.

Note: red circle: felled by wind, yellow: declined, white: dead.

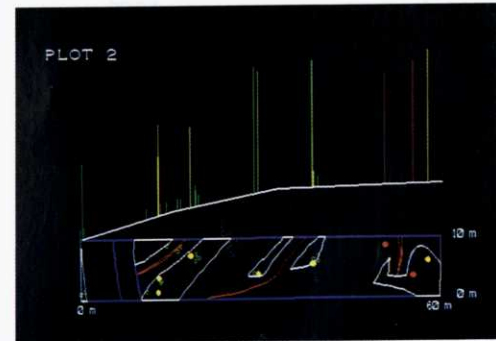


図-10 伐採4年後の残存状況 (PLOT2).

Fig. 10. Location of dead or declined trees four years after cutting.

注) 赤丸: 風倒木, 黄丸: 衰弱木, 白丸: 枯損木.

Note: red circle: felled by wind, yellow: declined, white: dead.

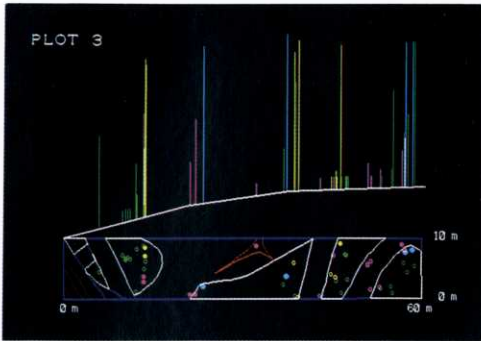


図-11 調査対象木の位置および損傷状況 (PLOT3).

Fig. 11. Location of research trees and damage intensity (PLOT3).

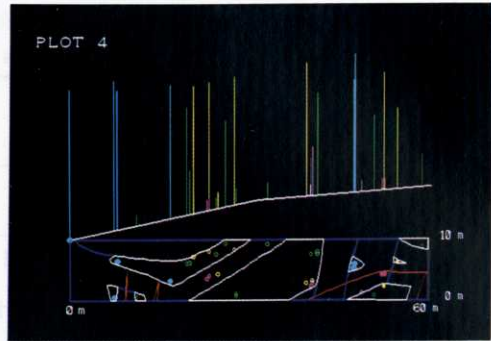


図-14 調査対象木の位置および損傷状況 (PLOT4).

Fig. 14. Location of research trees and damage intensity (PLOT4).

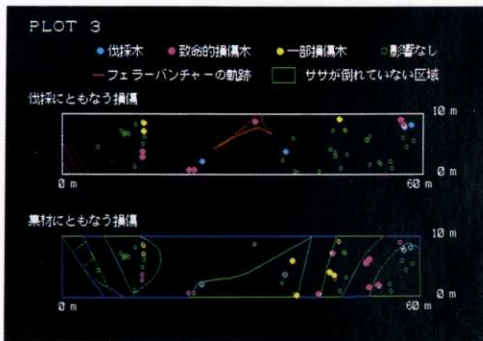


図-12 伐採にともなう損傷木と集材にともなう損傷木 (PLOT3).

Fig. 12. Location of damaged trees caused by felling and by skidding.

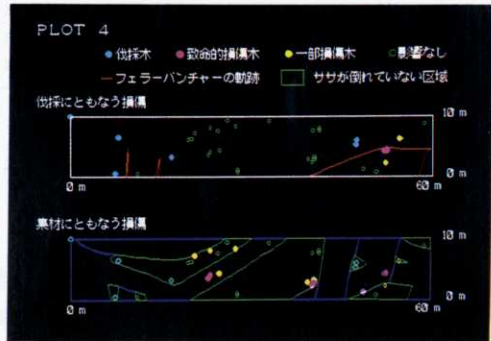


図-15 伐採にともなう損傷木と集材にともなう損傷木 (PLOT4).

Fig. 15. Location of damaged trees caused by felling and by skidding.

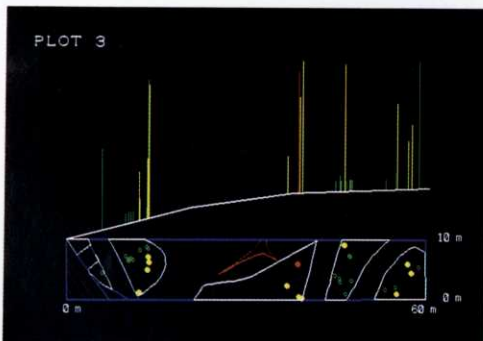


図-13 伐採4年後の残存状況 (PLOT3).

Fig. 13. Location of dead or declined trees four years after cutting.

注) 赤丸: 風倒木, 黄丸: 衰弱木, 白丸: 枯損木.

Note: red circle: felled by wind, yellow: declined, white: dead.

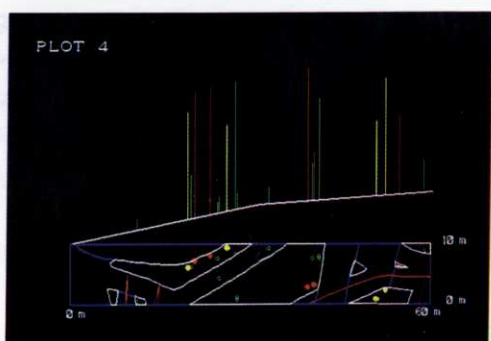


図-16 伐採4年後の残存状況 (PLOT4).

Fig. 16. Location of dead or declined trees four years after cutting.

注) 赤丸: 風倒木, 黄丸: 衰弱木, 白丸: 枯損木.

Note: red circle: felled by wind, yellow: declined, white: dead.

表-9 伐出直後の地表の状況

Table 9. Surface conditions directly after logging operation

プロット No.	攪乱度	跡地の種類	高さ (cm)	ササの状態*		土壌の 露出度**	車輛跡の 深さ (cm)
				被度 A	被度 B		
1-1	自然林地	非走行地	140	5			
2-3	自然林地	非走行地	140	5			
1-2	弱	伐採木の伐倒・引き出し跡地	140	2	5	1	0
3-3	弱	フェラーバンチャ走行跡地	140	2	5	1	5
4-4	弱	グラップルスキッド空車走行跡地	100	1	2	3	5
2-1	中	グラップルスキッド実車走行跡地	80	1	2	4	30
3-2	中	同上とキャタピラ実車走行跡地	50		3	2	20
2-2	強	グラップルスキッド実車旋回跡地	—			5	30
3-1	強	同上による集材道化跡地	140	1	3	3	30
4-1	地がき	ブルトーザ排土板による地がき跡地	50		1	5	10
4-2	地がき	ブルトーザ排土板による地がき跡地	50		1	5	20
4-3	地がき	ブルトーザ排土板による地がき跡地	50		1	5	20

* 被度 A は正常なもの、被度 B は伐出作業による不正常なもの。被度は 5: 75~100%, 4: 50~75%, 3: 25~50%, 2: 10~25%, 1: 1~10%, +: 1% 以下で示す。

** むき出しになった土壌の面積割合をササ被度と同じ基準で示す。

出度は 10~75% となっている。「強」のうちグラップルスキッド実車旋回跡地はササが全くなく、土壌が全面に露出していた。それによる集材道化跡地は中央に約 50% の不正常なササが残っていた。走行跡のわだちの深さは最深で 30cm であった。攪乱度の強いプロットほどササの被度が小さく、土壌の露出度が大きくなっている。

「地がき」は伐出跡において 10~20cm の深さでササの根系および A 層が除去されていた。

イ) 4 年間の植生変化と更新状況

伐出後 4 年間の植生変化については調査年ごとの植物組成一覧表を表-10~13 に示した。

自然林地 (表-10) によって林床の植生原型をみると、クマイザサが優占するササ型植生であるが、ほかに低い被度でエゾイチゴ、ダケカンバ、トドマツ、クロツリバナ、トガスグリ、イワツツジ、ゴゼンタチバナなどが生じていた。草本類ではエゾヨツバモグラ、アキタブキ、シダ類、スゲ類などが生じ、つる類はミヤママタタビがみられた。

上層林冠構成種であるトドマツ、エゾマツの稚幼樹の更新は極めて不良である。

①クマイザサおよびエゾイチゴの推移

高木類の更新に最も影響を及ぼすとみられるクマイザサとエゾイチゴの推移を表-14 に示す。

伐出前から繁茂していたクマイザサは、攪乱したプロットでは 1, 2 年間は一時的に衰退を見せたが、4 年後にはますます被度を高めている。「弱」「中」および「強」の 7 プロット中 6 プロットは、4 年後までに被度 4 以上にクマイザサが回復している。「強」の 2-2 プロットにおいてクマイザサの回復が遅れているのは、車両旋回跡地で地表が強度に圧密を受けて、水はけが悪く湿地化しているためであり、4 年後にスゲ類が被度 4 に達している。攪乱後の林床に急速に侵入したエゾイチゴは、4 年後において被度 1~4 に繁茂している。大型草本類では 3-1 プロットのアキタブキ、3-2 プロットのハンゴンソウが部分的に被度を高めている。

表-10 伐出1年後の植物組成表
Table 10. Vegetable composition one year after cutting
1992年7月16日 伐出後の年数: 1年

植物名	(学名)	自然林地		弱			中		強		地がき		
		1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
クマイザサ	<i>Sasa senaensis</i>	5	5	3	4	3	3	3	+	2	1	1	1
エゾイチゴ	<i>Rubus idaeus</i> var. <i>aculeatissimus</i>		+	+	+	+	1	1	+	1	1	1	+
ダケカンバ	<i>Betula ermanii</i>	+		+	1		+	+	1	1	1	1	1
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i>	1		+	1	+							+
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>					+				+	+	+	+
クロツリバナ	<i>Euonymus tricarplus</i>	+											
ミズナラ	<i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>			+									
トガスグリ	<i>Ribes sachalinensis</i>		+										
オオバスノキ	<i>Vaccinium smallii</i>							+					
イワツツジ	<i>Vaccinium praestans</i>	1											
カラスシキミ	<i>Daphne miyabeana</i>	+											
ゴゼンタチバナ	<i>Cornus canadensis</i>	1	1										
シダ類	<i>Ferns</i>		1	+	+		+	+		+			
エゾノヨツバムグラ	<i>Galium Kamtschaticum</i>		+				+			+			+
スゲ類	<i>Carex spp.</i>	+		+									
アキタブキ	<i>Petasites japonicus</i> var. <i>giganteus</i>		1	1				+		2			
ナンブソウ	<i>Achly japonica</i>					+					1		
ハンゴンソウ	<i>Senecio cannabifolius</i>			+									
ホウチャクソウ	<i>Disporum sessile</i>		+										
マイズルソウ	<i>Maianthemum dilatatum</i>										1		
アカミノルイヨウ ショウマ	<i>Actaea erythrocarpa</i>										+		
タニタデ	<i>Cireaea erubescens</i>										+		
タニギキョウ	<i>Peracarpa carnosae</i>							+					
ミヤママタタビ	<i>Actinidia kolomikta</i>	1	1	+	+	+	+			+		+	+
イワガラミ	<i>Schizophragma</i> <i>hydrangeoides</i>									+		+	
ツルアジサイ	<i>Hydrangea petiolaris</i>	+											
コケ類	<i>Mosses, liverworts</i>	3		1	+	+	1	+		+	+	+	+
植物種数		11	9	10	7	8	7	8	3	14	6	8	6

「地がき」3プロットでは伐出攪乱区に比べてクマイザサの回復が劣り、逆にエゾイチゴが高い被度で出現している。

②ダケカンバ、トドマツおよびエゾマツの更新状況

上層林冠構成種であるダケカンバ、トドマツおよびエゾマツの稚苗発生の推移を表-15に示す。

表-15のうち、自然林地1-1プロットのダケカンバおよびトドマツと「弱」1-2, 3-3プロットのトドマツは伐出攪乱前からの前生樹である。他はいずれもその後に発生した稚苗である。伐出攪乱のない自然林地においては2-3プロットで4年後にダケカンバ1本を認めただけである。

表-11 伐出2年後の植物組成表
 Table 11. Vegetable composition two year after cutting
 1993年7月8日 伐出後の年数: 2年

植物名	(学名)	自然林地		弱			中		強		地がき		
		1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
クマイザサ	<i>Sasa senaensis</i>	5	5	5	5	4	1	3	3	4	2	2	1
エゾイチゴ	<i>Rubus idaeus</i> var. <i>aculeatissimus</i>	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	1
ダケカンバ	<i>Betula ermanii</i>	1			+	1	+	+	+	1	1	1	
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i>	2		+	1								
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>					+			+		+	+	+
クロツリバナ	<i>Euonymus tricarplus</i>	1											
トガスグリ	<i>Ribes sachalinensis</i>		+			1						+	+
オオバスノキ	<i>Vaccinium smallii</i>						+	+					
イワツツジ	<i>Vaccinium praestans</i>	1				+							
カラスシキミ	<i>Daphne miyabeana</i>	1											
ゴゼンタチバナ	<i>Cornus canadensis</i>	1	+										
エゾノバッコ	<i>Sarix hultenii</i>												+
ヤナギ	var. <i>angustifolia</i>												
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>						+					+	+
シダ類	<i>Ferns</i>		1	1	+	+	+	1	1				
エゾノヨツバムグラ	<i>Galium Kamtschaticum</i>		+					+	2			2	+
スゲ類	<i>Carex</i> spp.	+		1			1	+			+	+	+
アキタブキ	<i>Petasites japonicus</i> var. <i>giganteus</i>		1	2			+	+	+	2	+	+	+
ナンブソウ	<i>Achly japonica</i>					+				1			
ハンゴンソウ	<i>Senecio cannabifolius</i>			1	+	+	+	1					
ホウチャクソウ	<i>Disporum sessile</i>		+										
マイズルソウ	<i>Maianthemum dilatatum</i>									1			
アカミノルイヨウ	<i>Actaea erythrocarpa</i>									+			
ショウマ													
タニタデ	<i>Cireaea erubescens</i>									2			
タニギキョウ	<i>Peracarpa carnosa</i>			1	2	1	2		1		+		
スマレ類	<i>Viola</i> spp.			3									+
ミヤマトウバナ	<i>Clinopodium sachalinensis</i>			1									
ミヤマアキノ	<i>Solidago virga-aurea</i>			+						1			
キリンソウ	var. <i>gigantea</i>												
チシマアザミ	<i>Cirsium Kamtschaticum</i>						+						
イグサ類	<i>Juncus</i> spp.						+				+		
ミヤママタタビ	<i>Actinidia kolomikta</i>	1	+	+	1	+			1	+	+	+	+
ツルアジサイ	<i>Hydrangea petiolaris</i>	+											
チョウセンゴミシ	<i>Schisandra chinensis</i>	1											
コケ類	<i>Mosses, liverworts</i>	1		1	+	+	+	1	1	+	+	+	+
植物種数		13	9	13	9	12	9	10	11	13	9	11	13

伐出攪乱した7カ所のプロットにおいて、ダケカンバは1年後に6カ所、4年後には全7カ所に稚苗の発生が認められた。稚苗の高さは4年後に最大115cmに成長している。トドマツは1年後に1カ所、4年後においても2カ所のプロットでしか稚苗の発生が認められない。エゾマツ

表-12 伐出3年後の植物組成表

Table 12. Vegetable composition three years after cutting.

1994年7月6日 伐出後の年数: 3年

植物名	(学名)	自然林地			弱			中		強		地がき		
		1-1	2-3	3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
クマイザサ	<i>Sasa senaensis</i>	5	5		5	5	5	4	3	1	5	2	2	1
エゾイチゴ	<i>Rubus idaeus</i> var. <i>aculeatissimus</i>	+	1		1	1	2	3	2	2	1	4	4	2
ダケカンバ	<i>Betula ermanii</i>	1			+	1		+	+	1	+	3	2	2
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i>	1			+	+		+		+		+	+	+
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>				+	+		+		+		+	+	+
クロツリバナ	<i>Euonymus tricarplus</i>	+												
トガスグリ	<i>Ribes sachalinensis</i>		+		+	+								
オオバスのノキ	<i>Vaccinium smallii</i>													
イワツツジ	<i>Vaccinium praestans</i>	1				+								
カラスシキミ	<i>Daphne miyabeana</i>	+												
ゴゼンタチバナ	<i>Cornus canadensis</i>	1	+							+				
エゾノバッコ	<i>Sarix hultenii</i>									+		+		+
ヤナギ	var. <i>angustifolia</i>													
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>				+			+				+	+	+
オガラバナ	<i>Acer ukurunduense</i>		+					+						
タラノキ	<i>Aralia elata</i>								+					
シダ類	<i>Ferns</i>		1		1	+		+						
エゾノヨツバムグラ	<i>Galium Kamtschaticum</i>	+	+		1	+		1	+	+	1	+	1	
スゲ類	<i>Carex spp.</i>						+	+		3		+		+
アキタブキ	<i>Petasites japonicus</i> var. <i>giganteus</i>	1			1			+		1	2	1	+	1
ナンプソウ	<i>Achlys japonica</i>										2			
ハンゴンソウ	<i>Senecio cannabifolius</i>				1	+	1	1	2	1		+	+	+
ハウチャクソウ	<i>Disporum sessile</i>	+												
マイズルソウ	<i>Maianthemum dilatatum</i>				+					+				
アカミノレイヨウ	<i>Actaea erythrocarpa</i>													
ショウマ														
タニタデ	<i>Cireaea erubescens</i>										1			
タニギキョウ	<i>Peracarpa carnososa</i>				1	1	1	1	1	1	+	1		
スマレ類	<i>Viola spp.</i>				1									+
ミヤマトウバナ	<i>Clinopodium sachalinensis</i>										+	+		
チシマアザミ	<i>Cirsium Kamtschaticum</i>									+				
エゾタツナミソウ	<i>Scutellaria pekinensis</i> var. <i>ussuriensis</i>				1									
ヨツバヒヨドリ	<i>Eupatorium cjhinense</i> var. <i>sachalinense</i>					+								
エゾスズラン	<i>Epipactis papillosa</i>				+					+				
ヤマニガナ	<i>Lactuca raddeana</i> var. <i>elata</i>					+								
エンレイソウ	<i>Trillium smallii</i>									+				
ミヤマキヌタソウ	<i>Galium makaii</i>													+
イグサ類	<i>Juncus spp.</i>									+		+		
ミヤママタタビ	<i>Actinidia kolomikta</i>	1	+		+	+		+	+			+		+
イワガラミ	<i>Schizophragma hydrangeoides</i>												+	
ツルアジサイ	<i>Hydrangea petiolaris</i>	+								+				
コケ類	<i>Mosses, liverworts</i>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
植物種数		12	11		12	15	12	14	10	14	15	17	10	13

表-13 伐出4年後の植物組成表

Table 13. Vegetable composition four years after cutting.

1995年6月21日 伐出後の年数: 4年

植物名	(学名)	自然林地		弱			中		強		地がき		
		1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
クマイザサ	<i>Sasa senaensis</i>	5	5	5	5	5	4	4	2	5	2	3	2
エゾイチゴ	<i>Rubus idaeus</i> var. <i>aculeatissimus</i>	2	+	1	2	4	4	4	2	3	4	4	2
ダケカンバ	<i>Betula ermanii</i>	1	+	+	+	1	1	1	+		4	3	2
トドマツ	<i>Abies sachalinensis</i>	2			1		+		+		+	+	+
エゾマツ	<i>Picea jezoensis</i>	1				+	+		+	+	+	+	+
クロツリバナ	<i>Euonymus tricarplus</i>	+											
トガスグリ	<i>Ribes sachalinensis</i>		+		+	+	+	+	+		+		
オオバスノキ	<i>Vaccinium smallii</i>												
イワツツジ	<i>Vaccinium praestans</i>	1				+							
カラスシキミ	<i>Daphne miyabeana</i>	+											
ゴゼンタチバナ	<i>Cornus canadensis</i>	1								+			
エゾノバッコ	<i>Sarix hultenii</i>									+			+
ヤナギ	var. <i>angustifolia</i>												
ノリウツギ	<i>Hydrangea paniculata</i>				+	+	+	+					+
オガラバナ	<i>Acer ukurunduense</i>						+					+	
タラノキ	<i>Aralia elata</i>							1					
シラカンバ	<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>					+				+		+	1
ムシカリ	<i>Viburnum furcatum</i>	+											
コマユミ	<i>Euonymus alatus</i>	+											
シダ類	Ferns		1	1	1	2	2	+	+				+
エゾノヨツバムグラ	<i>Galium Kamtschaticum</i>	+	+	+	1	+	2	2		2		1	
スゲ類	<i>Carex</i> spp.			1		+	1	2	4	+	1	+	1
アキタブキ	<i>Petasites japonicus</i> var. <i>giganteus</i>	1	1				+	1	3		2	1	2
ナンブソウ	<i>Achlys japonica</i>									1			
ハンゴンソウ	<i>Senecio cannabifolius</i>			1		1	1	2	1	+	1	+	+
ホウチャクソウ	<i>Disporum sessile</i>												
マイズルソウ	<i>Maianthemum dilatatum</i>									+			
アカミノルイヨウ	<i>Actaea erythrocarpa</i>						+			+			
ショウマ													
タニタデ	<i>Cireaea erubescens</i>			+	+				+	1	+		
タニギキョウ	<i>Peracarpa carnosus</i>		1	+	2		1	3	1	1	1		
スマレ類	<i>Viola</i> spp.			+			+						
チシマアザミ	<i>Cirsium Kamtschaticum</i>								+				
カタバミ	<i>Oxalis corniculata</i>	+											
ツクバネソウ	<i>Paris tetraphylla</i>									+			
ミヤマキヌタソウ	<i>Galium makaii</i>								1			2	+
イグサ類	<i>Juncus</i> spp.								1	+	+		
ミヤマタタビ	<i>Actinidia kolomikta</i>	+	+	+	1	+	+	+	+	+	+	+	+
イワガラミ	<i>Schizophragma</i> <i>hydrangeoides</i>						1		+	+	1	+	1
ツルアジサイ	<i>Hydrangea petiolaris</i>	+											
コケ類	Mosses, liverworts		+					+	1		1		1
植物種数		15	10	12	11	13	16	14	20	19	15	15	16

表-14 各プロットにおけるクマイザサおよびエゾイチゴの被度と高さの推移

Table 14. Changes of cover degree and maximum height of *Sasa senaensis* and *Rubus idaeus* var. *aculeatissimus* in each research plot

攪乱度 プロット No.	自然林地		弱			中		強		地がき		
	1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
クマイザサ <i>Sasa senaensis</i>												
被度 cover degree												
1991 (直後 A)	5	5	2	2	1	1			1			
1991 (直後 B)			5	5	2	2	3		3	1	1	1
1992 (1年後)	5	5	3	4	3	3	3	+	2	1	1	1
1993 (2年後)	5	5	5	5	4	1	3	3	4	2	2	1
1994 (3年後)	5	5	5	5	5	4	3	1	5	2	2	1
1995 (4年後)	5	5	5	5	5	4	4	2	5	2	3	2
高さ (cm) maximum height												
1991 (直後)	140	140	140	140	100	80	50		140	50	50	50
1992 (1年後)	140	160	120	145	100	80	80	40	80	100	40	50
1993 (2年後)	130	110	130	100	80	60	75	70	75	75	40	60
1994 (3年後)	130	130	130	120	100	75	100	65	110	100	80	100
1995 (4年後)	110	120	130	120	100	50	100	50	110	80	90	50
エゾイチゴ <i>Rubus idaeus</i> var. <i>aculeatissimus</i>												
被度 cover degree												
1992 (1年後)		+	+	+	+	1	1	+	1	1	1	+
1993 (2年後)	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	1
1994 (3年後)	+	1	1	1	2	3	2	2	1	4	4	2
1995 (4年後)	2	+	1	2	4	4	4	2	3	4	4	2
高さ (cm) maximum height												
1992 (1年後)		100	5	30	3	30	4	20	30	3	2	1
1993 (2年後)	40	100	30	45	25	10	75	20	45	25	20	20
1994 (3年後)	10	75	30	40	60	30	60	25	70	60	40	40
1995 (4年後)	20	100	40	50	50	50	100	30	60	60	40	50

は1年後に2カ所、4年後に4カ所のプロットにおいて稚苗の発生が認められた。トドマツ、エゾマツはダケカンバに比べて稚苗発生が極めて少ない。

対照の「地がき」3プロットは、伐出攪乱区に比べて4年後においてダケカンバの被度は明らかに高い。トドマツ、エゾマツも4年後に全3カ所のプロットで認められ、苗高は両者共に10 cmに達している。

上記3樹種の各プロット内小区画1 m²当りの稚苗本数を調べた結果を表-16に示す。伐出攪乱7カ所のプロットにおいて、ダケカンバは4年後に最小0~最多31本で、区画間のばらつきが大きい。これは種の飛散性が高いことと、地表の状態のばらつきが大きいことによるものと考えられる。トドマツは0~1本、エゾマツは0~2本で「強」の2-2プロットにおいてのみそれぞれ認められた。

対照の「地がき」3プロットにおいては、4年後にダケカンバは72~1140本、トドマツは1~7本、エゾマツは12~24本の稚苗の発生が認められた。小区画1 m²当りにおける稚苗発生の傾向は、前述した各プロットの調査結果をよく反映している。

以上のように3樹種の稚苗の発生は、「地がき」が最もよく、次いで伐出による攪乱地表であ

表-15 各プロットにおけるダケカンバ, トドマツおよびエゾマツの被度と高さの推移

Table 15. Changes of cover degree and maximum height of *Betula ermanii*, *Abies sachalinensis* and *Picea jezoensis* in each research plot

攪乱度 プロット No.	自然林地		弱			中		強		地がき		
	1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
ダケカンバ <i>Betula ermanii</i>												
被度 cover degree												
1992 (1年後) (+)				+	1	+	+	1	1	1	1	1
1993 (2年後) (1)				+	1	+	+	+	1	1	1	1
1994 (3年後) (1)				+	1	+	+	1	+	3	2	2
1995 (4年後) (1)	+		+	+	1	1	1	+	+	4	3	2

高さ (cm) maximum height												
1992 (1年後) (110)				1	2	1	2	1	1	1	1	1
1993 (2年後) (130)				2	5	10	10	10	20	4	8	10
1994 (3年後) (140)				10	30	25	20	17	15	20	20	20
1995 (4年後) (140)	2		10	50	35	30	30	15	12	60	40	20

トドマツ <i>Abies sachalinensis</i>												
被度 cover degree												
1992 (1年後) (1)			(+)	(1)	+					+		
1993 (2年後) (2)			(+)	(1)								
1994 (3年後) (1)			(+)	(+)		+		+		+	+	+
1995 (4年後) (2)				(1)		+		+		+	+	+

高さ (cm) maximum height												
1992 (1年後) (150)			(40)	(140)	2					2		
1993 (2年後) (160)			(30)	(120)								
1994 (3年後) (165)			(40)	(80)		2		1		2	1	2
1995 (4年後) (190)				(120)		3		5		10	3	3

エゾマツ <i>Picea jezoensis</i>												
被度 cover degree												
1992 (1年後)					+				+	+	+	+
1993 (2年後)					+			+		+	+	+
1994 (3年後)				+	+	+		+		+	+	+
1995 (4年後)					+	+		+	+	+	+	+

高さ (cm) maximum height												
1992 (1年後)					1				1	1	1	1
1993 (2年後)					2			2		2	2	1
1994 (3年後)				3	2	2		8		7	6	3
1995 (4年後)					3	2		10	1	10	10	7

注 () は伐出攪乱前の稚幼樹。

り、自然林地では皆無に近く、地表の状態によって顕著な差が認められた。トドマツの稚苗の発生が概して少ないのは、トドマツ成木の健全木が少なく、着果量が乏しいことによるものと考えられる。

亜寒帯林における針葉樹の実生の発生・消長が林地土壌の種類や条件と密接な関係を有することは、多くの調査研究によって明らかにされている(倉橋ら, 1983; 小笠原ら, 1981; 佐藤ら, 1988; 高橋, 1991)。特にエゾマツは A₀ 層および A 層での定着が難しく、それが「地がき」に

表-16 各小区画におけるダケカンバ、トドマツおよびエゾマツ稚苗の消長

Table 16. Germination and die of *Betula ermanii*, *Abies sachalinensis* and *Picea jezoensis* seedlings in each small research plot

(本/1m²)

攪乱度 プロット No.	自然林地		弱			中		強		地がき		
	1-1	2-3	1-2	3-3	4-4	2-1	3-2	2-2	3-1	4-1	4-2	4-3
ダケカンバ <i>Betula ermanii</i>												
1992 (1年後)	0	0	9	6	13	0	10	8	5	39	18	48
1993 (2年後)	0	0	1	2	5	7	1	3	6	40	10	44
1994 (3年後)	0	0	0	10	6・20	0	2	6	1	79・1450	6・130	28・102
1995 (4年後)	0	2	1	2	8・3	0	3	31	0	1100・40	65・7	140・10
トドマツ <i>Abies sachalinensis</i>												
1992 (1年後)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993 (2年後)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994 (3年後)	0	0	0	3**	0	0	0	1	0	0	0	0・1
1995 (4年後)	0	0	0	0	0	0	0	1	0	6・1	2	1
エゾマツ <i>Picea jezoensis</i>												
1992 (1年後)	0	0	0	0	8	0	0	0	0	6	6	4
1993 (2年後)	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0
1994 (3年後)	0	0	0	19**	0	6*	2	1	0	1	4・13	0・5
1995 (4年後)	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3・21	8・6	12

注 *腐朽倒木上, **枯木のくず上, 数値右側は新たに発生した芽ばえ.

よって除去された地表において4年後においても生残しているが、この点についてはさらに長期的に観察調査する必要がある。

伐出に伴う地表の攪乱は、ダケカンバの更新促進には部分的に一定の効果が期待されるが、針葉樹の後継木確保のためには不十分で、植込みが必要である。

ま と め

大形車両系林業機械による全木集材が林地、残存木、天然更新、植生などに与える影響についての継続的調査から、本調査地においては次のことがらが認められた。

- 1) フェラーバンチャとグラップルスキッドの組合せによる伐出作業の結果、残存木の54%になんらかの損傷が生じた。地表の攪乱面積割合は56.3%であった。
- 2) 特に、小径木の場合は致命的損傷となる確率が高いが、中・大径木では根や幹の部分的損傷に留まることが多い。
- 3) 損傷木のうち、伐倒時に損傷を受けたものは41%で、残りは集材時に発生した。
- 4) 伐採木からの距離が5m以内の残存木がなんらかの損傷を受ける確率は71%で、6~10mでは51%、11m以上離れると32%に下がる。
- 5) 伐採後4年間に伐採前の蓄積の12%にあたる樹木が風倒や根の損傷のため枯死した。
- 6) 伐採の4年後には伐採前の蓄積の18%にあたる樹木が「衰弱」した状態にあり、風害をうける危険がある。
- 7) 伐採の4年後に「健全」な状態にある樹木は伐採前の蓄積の14%にすぎなかった。
- 8) 伐出に伴う地表の攪乱は、ダケカンバの更新促進には一定の効果が期待されるが、針葉樹

の後継木確保のためには不十分である。

このように大形車両系林業機械を持続的な天然林択伐施業に導入するためには克服すべき多くの課題が存在することが明らかになった。

大形車両系林業機械自体が高価であるため、その償却費を考慮すれば、1日当たりの生産性を高くする必要があり、択伐作業に使用する場合には伐採率を高くしなければ採算がとれない。本調査地では、54%という針広混交天然林の自然回復力をはるかに上回る伐採率の択伐が実行された。その結果、多数の小径木が伐採支障木として致命的な損傷を受けて枯死した。材積の割合は低いものの、個体数・種多様性の観点から評価すれば、多数の支障木は持続的施業の条件を満たすものではないと評価される。

また、枯死に至らないまでも多くの損傷木を発生させ、2・3年以内に枯損木・風倒木となる樹木を生じている。さらに、健全度調査から大半の針葉樹が衰弱していることが明らかになり、生産性の高い健全な森林の維持が期待できない。

機械走行の地表土壌攪乱による天然更新について期待されたが、伐採後4年間の追跡調査ではクマイザサの回復が早いいため、上層林冠を構成するトドマツ、エゾマツの稚樹の発生は少なく、僅かにダケカンバの稚樹が認められた。

今回の調査では、機械搬出による攪乱とは別にブルドーザによる地がき地をつくり、稚樹の発生を継続調査したところ、トドマツ、エゾマツ、ダケカンバの天然更新が認められた。特に、ダケカンバの更新数が多く認められた。

このことから、今回の調査地におけるような特に大形な車両系林業機械を用いた高い伐採率による択伐作業では残存した森林に対する影響が大きく、針葉樹は成長を増進できずに衰弱して、ダケカンバなどの広葉樹が優占する疎林となり、地表は攪乱されるものの、回復の早いクマイザサに覆われるため、針葉樹の天然更新は期待できない。したがって、持続的な森林経営のためには後継樹の植え込みが必要である。

幾寅宮林署奥落合国有林大形車両系林業機械伐出作業跡地調査経過

1991.6.5-6	調査プロット設定 60m×10m 4プロット プロット内毎木調査樹種・胸高直径・樹高・樹冠径（伐採木） 伐根・倒木調査 プロット内毎木樹木位置図作成
1991.8.22-23,26	伐出作業，伐出跡毎木調査，走行跡地測量，走行跡分類
1992.7.16	更新状況固定調査プロット設定 12箇所 プロット内植生調査，更新状況調査（1m×1m） 残存木健全度調査（1回目）
1993.7.8	プロット内植生調査，更新状況調査（1m×1m） 残存木健全度調査（2回目） 風倒木大量発生
1994.7.6	プロット内植生調査，更新状況調査（1m×1m） 残存木健全度調査（3回目）
1995.6.21	プロット内植生調査，更新状況調査（1m×1m） 残存木健全度調査（4回目） 総合評価

択伐林からの収穫を永続的に続けるためには、残存木の木材生産能力を高い状態で維持しつつ、さらにその後継樹を育成することが不可欠である。しかし、全木集材方式では搬出木の枝条が残存木に与える影響が大きく、特に広葉樹を搬出する際において著しい。また、フェラーバンチャのオペレータからは地上部が確認しにくいので、安全確保のために伐採木周辺の小径木を引く抜くことがある。

今回調査の対象となった林分は比較的疎な林分であるが、一般的な択伐林分では立木本数が多くなるため、同様な超大形機械を使用すればさらに多くの損傷木の発生が予想される。今後、大形車両系林業機械による伐出作業の促進を図るためには、その作業にあたり損傷木の発生を極力少なくするための配慮が必要になる。特に、伐採木周辺の残存木に対する影響を小さくするように、フェラーバンチャの伐採木までの移動方法や伐倒方法、グラップルスキッドの走行ルートを改善する必要がある。このように伐採木周辺の後継樹の損傷が大きいために大形車両系林業機械の択伐作業への適用にあたっての問題点である。

要 旨

北海道の天然林内において、フェラーバンチャおよびグラップルスキッドによる材積伐採率54%の択伐作業および全木集材作業が林地、残存木、天然更新、植生などに与える影響について、伐採時とその後4年間にわたり調査を行った。その結果、1) 残存木本数の54%になんらかの損傷が生じ、地表面積の56%が攪乱された。2) 小径木は致命的損傷となる確率が高く、中・大径木では部分的損傷に留まることが多い。3) 伐採木からの距離が近いほど損傷を受ける確率が高い。4) 伐採4年後に健全な状態にある樹木は伐採前の蓄積の14%にすぎず、30%は枯死したか衰弱した状態にある。5) 伐出に伴う地表攪乱は、ダケカンバの更新には効果が期待されるが、針葉樹の後継木確保のためには不十分である。以上のことから、大形車両系林業機械による択伐作業と全木集材では残存した森林に対する影響が大きく、針葉樹は成長を増進できずに衰弱して、広葉樹が優占する疎林となる。地表は攪乱されるものの、回復の早いクマイザサに覆われるため、針葉樹の天然更新は期待できない。持続的森林経営のためには後継樹の植え込みが必要である。大形機械による伐出作業を促進するためには損傷木の発生を少なくするため、伐採木周辺の残存木に配慮して、フェラーバンチャの伐採木までの移動方法や伐倒方法、グラップルスキッドの走行ルートを改善する必要がある。

キーワード：大形林業機械、全木集材作業、残存木損傷、地表攪乱、天然更新

引用文献

- 浅井達弘・対馬俊之・木幡靖夫・北川建雄：高性能林業機械による択伐天然生林の伐出作業例 (II)。101 回日林論, 635-636, 1990。
- 熊倉由典・田坂聡明・酒井秀夫：林業用大型機械作業による林地土壌締固めへの影響。森林利用研究会誌 9(2): 41-51, 1994。
- 倉橋昭夫・小笠原繁男・梶 幹男・濱谷稔夫：東京大学北海道演習林の 1981 号 15 号台風風害跡地における前生稚樹の実態調査。日林北支講 32: 40-42, 1983。
- 倉橋昭夫・大里正一・山本博一：フェラーバンチャおよびグラップルスキッドによる伐出作業跡地 (III)―伐出跡地の 1 年後の更新状況―。日林北支論 41: 258-260, 1993。
- 栗田 稔：積分幾何学。p. 24-26, 共立出版, 1956。

- 小笠原繁男・倉橋昭夫・宮森吉次・濱谷稔夫：エゾマツの天然更新に関する研究—土壤条件の異なる発芽床と種子の発芽—。日林北支講 30: 76-78, 1981.
- 大里正一・山本博一・倉橋昭夫・大橋邦夫：フェラーバンチャおよびグラップルスキッドによる伐出作業跡地(I)—伐出跡地面積について—。日林北支論 40: 119-121, 1992.
- 大里正一・大橋邦夫・山本博一・倉橋昭夫：フェラーバンチャによる伐倒作業跡地—伐倒跡地面積について—。日林関東支論 45: 107-108, 1994.
- 佐藤昭一・高橋康夫・渡邊定元：A層土壤におけるエゾマツ・トドマツ・ダケカンバの稚苗混生がそれらの生存率に与える影響。日林北支論 36: 78-80, 1988.
- 猪内正雄・安達喜代美：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壤の締め固めとカラマツ植栽苗木の生長。日林誌 64: 136-142, 1982.
- 猪内正雄：トラクタ走行による土壤の締め固めと植栽苗木の成長(I)。岩大演報 13: 33-42, 1982.
- 高橋郁雄：エゾマツの生育過程と菌類相の遷移—特に天然更新に対する菌類の役割—。東大演報 86: 201-273, 1991.
- 対馬俊之・浅井達弘・木幡靖夫・北川建雄：高性能林業機械による択伐天然生林の伐出作業例(I)。101回日林論, 633-634, 1990.
- 対馬俊之・浅井達弘・木幡靖夫・由田茂一：機械走行回数異なる表層土壤の孔隙組成と土壤硬度。104回日林論, 883-884, 1993.
- 仁多見俊夫・上飯坂 実：車両の林内走行難易度による林況区分。日林誌 67(1): 408-413, 1985.
- 仁多見俊夫：林内作業車の林内走行に関する基礎的研究。東大博論, pp. 192, 1986.
- 山本博一・大里正一・倉橋昭夫・大橋邦夫・小笠原繁男・井口和信：フェラーバンチャおよびグラップルスキッドによる伐出作業跡地(II)—伐出後の残存木の状況—。日林北支論 40: 122-124, 1992.
- 山本博一・倉橋昭夫・大里正一・大橋邦夫・高橋郁雄・有沢 浩・佐藤昭一・河原 漢・佐藤義弘・芝野伸策：天然林トドマツの健全度に関する研究—東京大学北海道演習林の事例—。東大演報 86: 1-31, 1991.
(1996年1月12日受付)
(1996年5月13日受理)

Summary

A continuous research program into the influence of selection cutting and whole tree logging using a feller buncher and a grapple skidder on forest land, residual trees, natural regeneration and vegetation has been carried out over four years after cutting in a natural forest in Hokkaido. The results obtained were as follows: 1) 54% of the residual trees suffered from some damage and 56% of the surface of the forest land was disturbed. 2) In the case of small trees, the probability of fatal damage was high. Middle or large trees were damaged partially. 3) The closer to the felled tree, the higher the probability of damage. 4) The volume of healthy trees was only 14% of the stand volume before cutting, 30% of the stand volume was dead or declining because of logging damage. 5) The surface disturbance by logging is expected to allow the natural regeneration of *Betula ermanii*, but it is not sufficient to ensure a coniferous succession.

Accordingly, in case of selection cutting operations and whole tree logging using a large-sized wheel-type forestry machine, the influence is too severe on the residual stands. In particular, coniferous trees declined and in the future the forest will be an open forest covered with broad-leaved trees. The natural regeneration of conifers is not expected in spite of surface disturbance by logging because of the quick recovery of *Sasa senanensis*. So artificial planting of succeeding trees is needed for sustainable forest management. In order to promote the mechanization of logging operations, improvements in the routes of machine movement and the method of tree felling considering residual trees are indispensable.

Key words: Large-sized forestry machine, Whole tree skidding operation, Damage to residual trees, Surface disturbance, Natural regeneration

Abstract

The Influence of Large-Sized Wheel Type Forestry Machine on the Residual Forest Land —A Case Study of a Selection Cutting Operation in Natural Forest in Hokkaido—

Shoichi OHSATO, Akio KURAHASHI, Hirokazu YAMAMOTO,
Kunio OHASHI, Toshio NITAMI, Shigeo OGASAWARA,
Kazunobu IGUCHI and Chubei SASAKI

Continuous research into the influence of selection cutting and whole tree logging using a feller buncher and a grapple skidder on forest land, residual trees, natural regeneration and vegetation has been carried out over four years after cutting in a natural forest.

In this case, the influence is too severe on the residual stand. Especially coniferous trees declined. The natural regeneration of conifers is not expected despite surface disturbance by logging. In order to promote the mechanization of logging operations, improvements in the way of machine movement and the method of tree felling considering for residual trees are necessary.

A Study on Forestry Mechanization in Korea

Sang Jun PARK, Jae Won KIM and Hiroshi KOBAYASHI

We analyzed the forestry situation, the history of forestry mechanization, forest operations and a view of the forest machines and logging operations in Korea, and discussed the problems and measures for forestry mechanization in the future.

The total area of forest land represented 65% of the total land area on December 31, 1993. Most Korean forests are young forests and are located in mountainous regions. The introduction of forest machines began at the end of the 1960s. Plantation and silvicultural operations and most of the logging operations depend on man-power. The measures for Korean forestry mechanization are mainly the construction of forest-road networks, and training of operators.