

# トラクタ集材作業における立木の損傷

井上源基\*・藤原 登\*\*・上飯坂実\*\*\*

Studies on Tree Injuries caused by Tractor Logging Operation

Motoki INOUE\*, Noboru FUJIWARA\*\* and Minoru KAMIIZAKA\*\*\*

## 1. ま え が き

1969年9月にストックホルムで開催された「間伐と機械化に関するシンポジウム」において、トラクタ集材作業による林床あるいは残存立木の被害に関する報告が行なわれた。

このシンポジウムにおいて、HEDÉN, S.<sup>1)</sup> はホイールトラクタの走行が林木の生育に及ぼす影響を追跡調査した結果について述べ、BRADLEY, R. T.<sup>2)</sup> や OMBERG, H.<sup>3)</sup> は根系の損傷を防ぐために枝条を敷きつめることが効果的であると述べている。NILSSON, R. O. と HYPPEL, A.<sup>4)</sup> は病理学的立場から、トラクタ集材による根系の損傷を調べ、集材トラクタは樹幹から70 cm以内に近接すべきではないと述べている。KÄRKKÄINEN, M.<sup>5)</sup> は夏山作業と冬山作業ではトラクタ集材による立木損傷の内容が異なり、樹幹の損傷は作業季節に関係しないが、根系は夏山でより多くの損傷を受けると述べ、夏山作業における被害木本数と作業道延長距離、立木材積および伐採材積(いずれも ha 当り)との関係を示す多重回帰式を与えた。

わが国では、大河原<sup>6)</sup> が集材機による間伐材集材作業による立木の損傷について綿密な調査を行っており、また旭川営林局の報告<sup>7)</sup> などがあるが、トラクタ集材作業については、胸高直径16 cm以下の残存立木の損傷について調べた報告<sup>8)</sup> がある程度で、この問題に関する報告はまだ極めて少ない。

本研究は、機械による集材作業のための森林地形区分 (terrain classification) に関する研究の一部であるが、トラクタ集材作業による残存立木の損傷の問題を実証的に究明するため、1969年以来東京大学農学部付属北海道演習林において行なってきた調査結果についてとりまとめたものである。

なお調査にあたって北海道演習林の方々には大変お世話になり、特に調査地の設定に際して直営生産掛の方々には何かと御協力頂き、測定調査に際して佐藤義弘、河原 漢、太田重之および道

\* 農林省林業試験場機械化部  
Forest Mechanization Division, Government Forest Experiment Station.

\*\* 東京大学農学部北海道演習林  
University Forest in Hokkaido, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

\*\*\* 東京大学農学部林学科  
Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

上昭夫の諸氏に格別の御協力を頂いた。ここに改めて謝意を表する次第である。

## 2. 調査地の概況

調査地は 東京大学農学部付属北海道演習林第Ⅱ作業級 44 林班内に設定した。調査地の面積は 5.24 ha で、標高 680 m から 740 m に位置し、平均傾斜 13.5% ( $7^{\circ}40'$ ) の緩斜地である。土壌は石英粗面岩を基岩とした砂質壤土で、林相はトドマツ (180 年生)、クロエゾマツ (250 年生)、ミズナラ、イタヤ、シナ、ダケカバ等を主体とする針・広混交の天然林である。径級 6 cm 以上の立木本数 730 本前後で針・広の本数比率は 4:6、平均蓄積  $270 \text{ m}^3/\text{ha}$  で針・広材積比 7:3 は当演習林奥地林としては平均的の個所である。林内はササが密生しており、倒木や古い根株などの地表障害物が少なくない。北海道演習林概要による当演習林の年平均気温は約  $6^{\circ}\text{C}$ 、年間降水量は約 1,200 mm である。

施業は択伐による林分施業を行っており、伐採率は材積で 25% で一回当り ha 当り約  $69 \text{ m}^3$  の伐採で回帰年は 20 年である。調査地における本数択伐率は胸高直径 20 cm 以上の針・広合わせて 11.8% であった。

調査地の北側および西側に沿って林道があり、これらの林道から分岐した 2 本の作業道が調査地のほぼ中央を通っている。調査地中央には小沢に沿って土場 B があり、その付近は比較的大きな地形の起伏が見られる。また調査地に接して東側に土場 C があり、西側に土場 A がある。調査地内の伐採木は、これら三つの土場にトラクタで集材される。伐倒された材はその場で枝払いさ

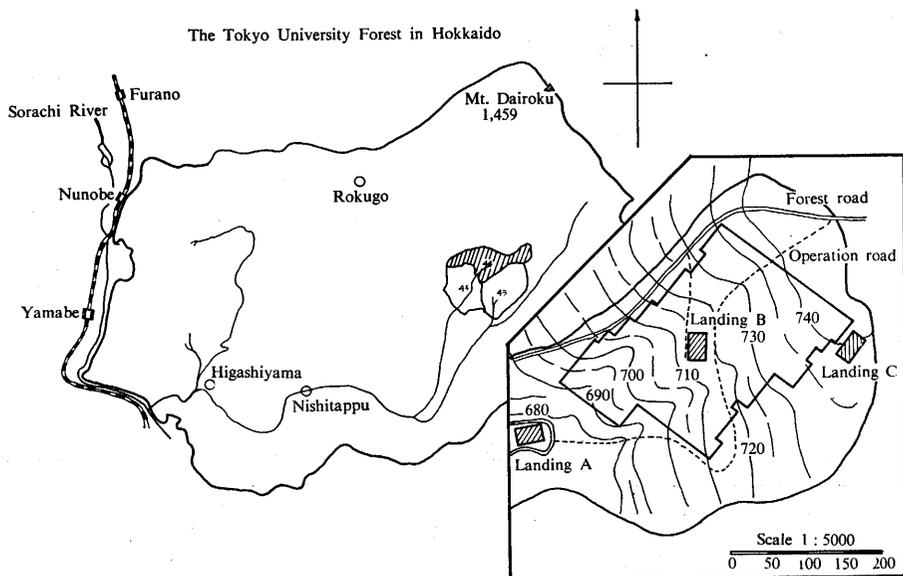


図-1. 試験地の位置  
Fig. 1. Situation of the study area.

れ、3.65 m 材に玉切りされた後、トラクタに装備されたウインチにより引き寄せられ、数本にまとめられてトラクタにより各土場まで集材される。

集材用のトラクタは、D4 (7.9t)、CT-35 (5.5t) の各クローラトラクタと、FT-2 (3.0t) ホールトラクタであるが、FT-2 は作業の補助用である。

### 3. 調査方法

調査地を 10 m×10 m のプロットにわけ、ビニールテープで区画して、各プロット内にある立木を針・広別に胸高直径 6 cm 以下、6~20 cm、20 cm 以上の 3 段階に分けてその位置を記載した立木位置図を作成し、伐倒木の位置とその本数および被害本数について調査した。被害木は伐倒によるもの、トラクタのウインチによる引き寄せ作業によるもの、およびトラクタの集材走行によるものに分けて残存立木の被害本数を調べた。ただし 1 本の立木の損傷箇所数は調べていない。したがって 1 本の立木で数箇所損傷があっても被害木 1 本とした。損傷はトラクタの走行などによって消滅したもの、樹幹の折損したもの、太枝が大きく折損したもの、および樹皮が剥脱したものを対象とした。その場合、胸高直径 6 cm 以下のものについては折損などの被害は明瞭にわかるが、特に径級 20 cm 以上の樹幹の樹皮剥脱についてはそれが生長に影響するか否かの判断は困難である。ここでは機械的に樹皮剥脱部分の面積が 10 cm<sup>2</sup> 以上のものを被害木とした。

また地形測量によって 1 m 毎の等高線の入った調査地の地形図を作成し作業道注1)およびトラクタ道注2)の位置を記入した。

以上の作業によって得られた調査地現況図に基づいて、調査地を 20 m×20 m を単位プロットとする合計 128 のプロット (5.12 ha) に分けし直し、各プロット毎にトラクタ集材作業による立木の被害とこれに影響を与える諸因子について検討を加えた。

### 4. 調査結果

被害率は立木密度によって影響を受けることが十分に予想されるが、さらに同一密度であっても立木分布によって異なるであろう。

立木の分布型は CLARK と EVANS の行なった隣接単位法<sup>9)10)注3)</sup>の R 値により、ランダムパターン、拡散パターン、あるいは集塊パターンのいずれに属するかを判定した。その結果 R 値は

注 1 伐出作業計画に基づいてあらかじめ予定線を計画し、ブルドーザ等によって土工作业を施した林道で、冬期凍結期間は運材路として使用される。

注 2 トラクタ集材によって林内に出来るいわゆる「道形」(strip road) で、トラクタによる集材作業のための林内作業路である。

注 3 Nearest-neighbor method と呼ばれるが、訳語ではこの他「最近隣単位」などがある。この手法についてはさらに L. J. キング、地域の統計的分析 (奥野、西岡訳、1973. B. J. L. BERRY and D. F. MARBLE, Spatial analysis 1968) などに述べられている。

表-1. トラクタ集材作業による被害率

Table 1. Results of research on injured trees caused by tractor skidding and log-pulling with winch

Group number	1	2	3	4	5	Total
Number of standing trees	617	722	853	666	604	3462
Number of felled trees	38	32	34	35	23	162
Total number of injured trees/(%)	71 (11.3)	157 (21.7)	111 (13.0)	85 (12.7)	133 (22.1)	557 (16.1)
Number of injured trees caused by tractor skidding/(%)	37 (5.9)	103 (14.2)	71 (8.3)	59 (8.9)	70 (11.6)	340 (10.3)
Number of injured trees caused by log-pulling/(%)	34 (5.4)	54 (7.5)	40 (4.7)	26 (3.8)	63 (10.5)	217 (6.6)
Mileage of tractor roads (m)	410	515	456	446	118 (293)*	1945 (293)*
Average gradient of slopes (%)	11.3	14.4	14.5	6.8	22.9	—
Number of plots	31	24	27	23	23	128

(Unit plot: 0.04 ha, Total area: 5.12 ha)

\* Mileage of forest roads

地形によって分類した場合は 0.84~0.95 を示し、立木密度によって分類した場合は 0.87~0.94 を示し、いずれの場合も R 値は 1 に近くランダムパターンであることを示した<sup>11)</sup>。また胸高直径 6 cm 以上の立木の平均立木間距離は 1.9 m であった。

次に被害率に影響を与える因子を分析するために、128 プロットを A 土場に集材されるグループ (第 1 グループ)、B 土場に集材されるグループ (第 2,3 グループ)、C 土場に集材されるグループ (第 4 グループ)、および作業道の含まれるグループ (第 5 グループ) の 5 グループに分け、集材による被害およびトラクタ道延長距離などをとりまとめると表-1 のとおりである。ただしここでとりまとめた立木は径級 6 cm 以上のものである。

ここで被害率とは集材作業における被害率を指し、次のように定義した。

$$\text{被害率 (\%)} = \{ \text{集材時立木被害本数} / (\text{立木本数} - \text{伐倒本数}) \} \times 100$$

各プロット毎に立木本数、傾斜 (最大傾斜)、トラクタ道延長距離および集材時被害率の分布を示すと 図-2~5 のとおりである。

調査地の作業道およびトラクタ道延長距離は、5.12 ha に対してそれぞれ 293 m および 1945 m で、ha 当り 57 m および 380 m となるが、作業道は大略 200 m 間隔で開設されていることになる。現地は緩斜地であるので、規則的な間隔で作業道の開設が可能であり、隣接している林道との間隔も約 200 m で、当演習林内における類似の条件下での伐出作業における作業道の間隔も大体前述の間隔と一致する<sup>12)</sup>。トラクタ道の ha 当り延長距離 380 m から、伐倒木一本当り平均木寄せ距離を求めると 13.7 m となるが、これを集材時被害率と対置させると、トラク

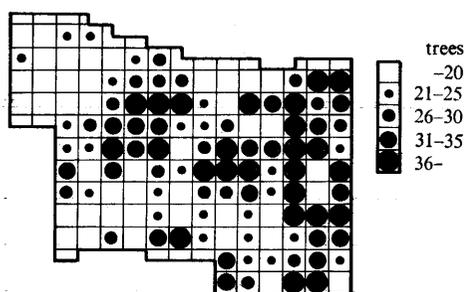


図-2. プロット毎立木本数分布

Fig. 2. Distribution map of stumpage by plots.

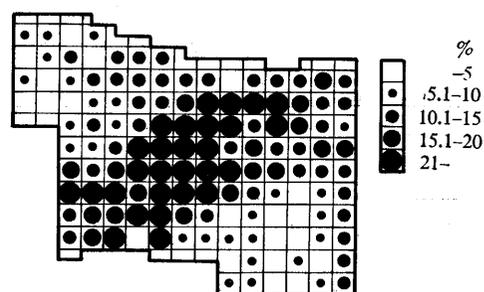


図-3. プロット毎傾斜分布

Fig. 3. Distribution map of slope by plots.

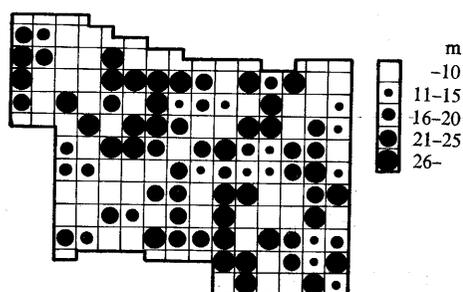


図-4. プロット毎トラクタ道延長分布

Fig. 4. Distribution map of mileage of tractor skidding road by plots.

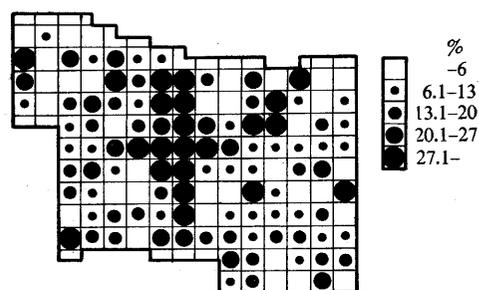


図-5. プロット毎集材による被害率分布

Fig. 5. Distribution map of percent of injured trees by plots.

タ道延長距離 4 m に 1 本の割合で被害木が生じたことになる。表-1 によれば、トラクタ集材走行時の被害率はウインチによる木寄せ作業のそれと同程度もしくは約 2 倍となっている。したがって立木の被害を少なくするためには単位面積当りのトラクタ道延長をある程度におさえることを考える必要もある。

## 5. 考 察

### (1) 被害率に影響を及ぼす因子

図-2~5 から、立木本数、伐倒本数（集材本数）、傾斜およびトラクタ道延長距離の増大に伴って被害率も増大することが推測され、この関係をまとめると図-6 および 7 のようになり、ha 当り被害本数  $y$  とこれに影響を与えると考えられる諸因子即ち立木本数  $N$ 、伐倒本数  $n$ 、傾斜  $S$  (%) およびトラクタ道延長距離  $x$  (m) (いずれも ha 当り) との関係はそれぞれ次のような一次式で示される。

$$y = 0.19N - 18.03 \quad (1)$$

$$r = 0.9708$$

$$y = 0.89n - 82.90 \quad (2)$$

$$r = 0.9829$$

表-2. 傾斜, 伐倒本数, 立木本数別被害本数

Table 2. Number of injured trees by slope, number of felled trees and standing trees

C \ A* \ B	0~10%				10~20%				20%~				Total
	0	1	2	3~	0	1	2	3~	0	1	2	3~	
0~20	5	8	0	6	9	13	12	11	7	7	8	3	89
20~35	13	25	12	24	32	25	29	28	7	45	30	9	279
35~	4	21	16	0	29	28	10	35	26	14	6	0	189
Total	134				261				162				557

\* A: Slope (%), B: Number of felled trees, C: Number of standing trees.

表-3. 表-2 の 分散 分析 表

Table 3. Analysis of variance Table 2

Factorial effect	S	$\phi$	V	F
A	140.26	2	70.13	5.65**
B	123.86	3	41.29	3.33*
C	210.28	2	105.14	8.47**
A × B	161.28	6	26.88	2.17
B × C	236.91	6	39.49	3.18**
C × A	23.46	4	5.87	0.47
A × B × C	50.43	12	4.20	0.34
E	1141.70	92	12.41	
T	2088.18	127		

A: Slope (%), B: Number of felled trees, C: Number of standing trees

$$y = 2.90S + 64.63 \quad (3)$$

$$r = 0.9559$$

$$y = 0.16x + 37.02 \quad (4)$$

$$r = 0.9154$$

いずれも相関が高くそれぞれの関係をよく示している。ha 当りトラクタ道延長距離が 1,000 m (1プロット内では 40 m) を越えたところで被害木本数が急増したのは、たまたま傾斜の影響が作用したものと考えられる。

以上の如く  $y$  と  $N, n, S$  および  $x$  の間の関係がそれぞれ一次式で表わされることがわかったが、これをさらに分散分析によって、諸因子間の差の有意性あるいは交互作用について検討し次の結果を得た。

表-3の分散分析の結果より、傾斜と立木本数には1%水準で、傾斜と伐倒本数については5%

表-4. トラクタ走行による被害本数

Table 4. Number of injured trees caused by tractor skidding.

C \ B \ A	0~10%				10~20%				20%~				Total
	0	1	2	3~	0	1	2	3~	0	1	2	3~	
0~20	4	7	0	3	6	9	9	5	0	7	4	2	56
20~35	9	17	7	14	22	22	23	18	4	18	2	1	176
35~	4	15	6	0	21	17	4	17	14	8	2	0	108
Total	86				173				81				340

木寄せによる被害本数

Number of injured trees caused by log-pulling with winch.

C \ B \ A	0~10%				10~20%				20%~				Total
	0	1	2	3~	0	1	2	3~	0	1	2	3~	
0~20	1	1	0	3	3	4	3	6	7	0	4	1	33
20~35	4	8	5	10	10	3	6	10	3	27	9	8	103
35~	0	6	10	0	8	11	6	18	12	6	4	0	81
Total	48				88				81				217

A: Slope (%), B: Number of felled trees, C: Number of standing trees.

水準でそれぞれ有意差が認められた。また伐倒本数と立木本数に交互作用が認められたが、傾斜と伐倒本数および傾斜と立木本数については交互作用が認められなかった。

さらに傾斜、立木本数および立木分布パターンについて分散分析を行なった結果、先きの分散分析の場合と同様傾斜と立木本数には被害本数との間に有意差が認められたが、立木分布パターンとの間には有意差は認められなかった。しかし立木本数と立木分布パターンに交互作用が認められたことから、立木分布パターンの異なる林分では被害率が異なることが推察された。

次にトラクタ集材走行中に受けた立木の被害およびウインチによる木寄せ作業中の被害について、傾斜、伐倒本数および立木本数を要因とした分散分析を行ない表-4 および 5 に示す結果を得た。

表-5 よりトラクタ走行による被害本数とは、立木本数との間に 5% 水準で有意差が認められ、木寄せ作業による被害本数との間では傾斜と立木本数については 1% 水準で、伐倒本数については 5% 水準で有意差が認められた。

以上の結果から、トラクタ走行による被害も木寄せによる被害もともに立木本数によって強く影響されることがわかった。

## (2) トラクタ道延長距離と被害率

単位面積当りのトラクタ道延長距離が増せば、トラクタの林内走行によって生ずる立木の被害

表-5. 表-4 の分散分析 (トラクタ走行)  
Table 5. Analysis of variance table (tractor skidding).

Factorial effect	S	$\phi$	V	F
A	27.89	2	13.95	1.62
B	30.88	3	10.29	1.20
C	62.34	2	31.17	3.62*
A × B	54.55	6	9.09	1.06
B × C	80.52	6	13.42	1.56
C × A	20.03	4	5.01	0.58
A × B × C	57.82	12	4.82	0.56
E	791.84	92	8.61	
T	1125.87	127		

(木 寄 せ)  
(log-pulling with winch)

Factorial effect	S	$\phi$	V	F
A	62.22	2	31.11	6.94**
B	41.12	3	13.71	3.06*
C	45.99	2	23.00	5.13**
A × B	31.69	6	5.28	1.18
B × C	81.99	6	13.67	3.05**
C × A	7.55	4	1.89	0.42
A × B × C	23.44	12	1.95	0.44
E	412.12	92	4.48	
T	706.12	127		

A: Slope (%), B: Number of felled trees, C: Number of standing trees.

木本数も増加することは既に 図-7 によって認められるとおりであるが、これを被害率との関係で示すと 図-8 のとおりである。図-8 より単位プロット当り (20 m × 20 m) のトラクタ道の延長距離は 20~25 m が比較的多く、トラクタ道の間隔が 20 m 前後で被害率が 14% 前後となることが知られる。先きの分散分析によれば傾斜と被害木本数との間に有意差は認められなかったが、図-8 より傾斜の増大にともない被害率も増大する傾向がみられ、トラクタ道延長距離が 20 m 以上になると、傾斜 10% 以下と 20% 以上とでは被害率にかなりの差が認められる。

ここで単位プロット当りのトラクタ道延長距離  $X_1$  とその被害率  $Y_1$  の関係は次式のとおりである。

$$Y_1 = 0.623X_1 - 1.097 \quad (5)$$

$$r = 0.8951$$

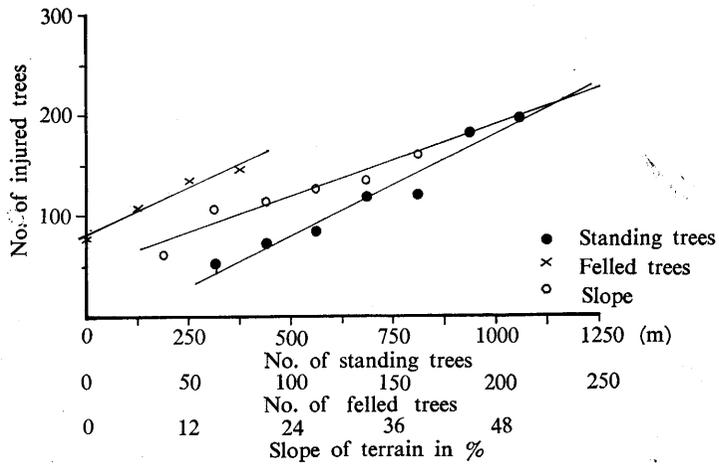


図-6. ha 当りの被害木本数と立木本数, 伐倒本数, 傾斜

Fig. 6. Relation of number of injured trees to number of standing trees, felled trees and slope of terrain per ha.

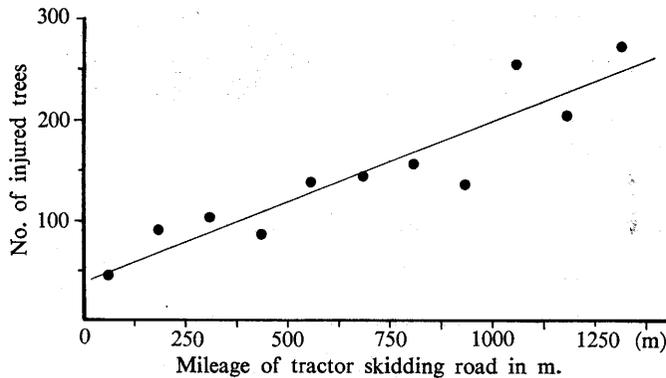


図-7. ha 当りのトラクタ道延長距離と被害木本数

Fig. 7. Relation of number of injured trees to mileage of tractor skidding road per ha.

また 図-8 に示す傾斜別の被害率とトラクタ道延長距離の関係は次式のとおりである。

10%以下 
$$Y_1 = 0.45X_1 + 0.60 \quad (6)$$
  

$$r = 0.95$$

10~20% 
$$Y_1 = 0.69X_1 - 1.99 \quad (7)$$
  

$$r = 0.96$$

20%以上 
$$Y_1 = 0.81X_1 - 0.78 \quad (8)$$
  

$$r = 0.97$$

(3) 木寄せ作業と被害率

この被害はトラクタ後部に装備したウインチにより, 伐倒木をトラクタ道のトラクタまで引き寄せる時に残存立木に与える被害である。

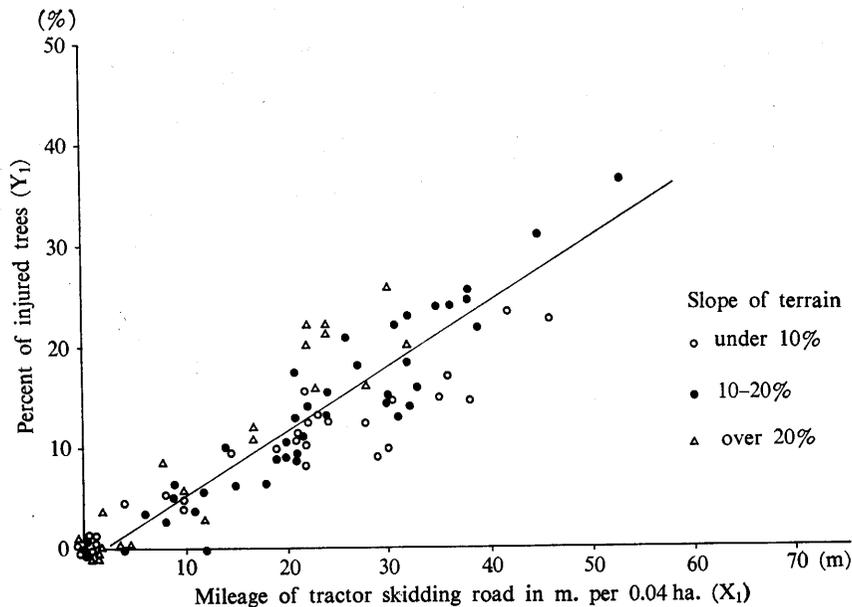


図-8. トラクタ走行による被害率とトラクタ道延長距離

Fig. 8. Relation of percent of injured trees caused by tractor skidding to mileage of tractor skidding road.

木寄せの実際の径路は不明であるが、伐倒地点から最寄りのトラクタ道までの最短距離を図上から求め、それを木寄せ距離とした。

木寄せによる被害率と平均木寄せ距離の関係を求めると 図-9 のようになる。

図-9 から明らかなように、平均木寄せ距離が大きい程、また伐倒本数即ち木寄せ本数が多い程被害率が大きくなっている。いま平均木寄せ距離  $X_2$  に集材本数  $n$  を乗じた値  $nX_2$  と木寄せによる被害率  $Y_2$  の関係を求めると 図-10 のようになり、(9) 式で示すことができる。

$$Y_2 = 0.4909n \cdot X_2 + 0.7751 \quad (9)$$

$$r = 0.7699$$

ただし、ここでは土場Bの周囲を除外した120プロットに対する関係式である。

表-5 の木寄せ作業の被害に関する分散分析によれば、土場Bの周囲も含めた128プロットに対しては傾斜が被害に影響していることが認められたので、これを傾斜別に  $A_1$  (10%以下)、 $A_2$  (10~20%) および  $A_3$  (20%以上) にそれぞれ分けて、その差の有意性を検定したところ、 $A_1$  と  $A_2$  および  $A_1$  と  $A_3$  の間に有意差が認められた。そこで  $A_3$  に属する土場Bの周囲を除いた120プロットについて傾斜を考慮した重回帰式を求めると次式 (10) のようになる。

$$Y_2 = 0.485nX_2 + 3.548 \log S - 2.931 \quad (10)$$

$$r_{Y:nX_2, \log S} = 0.7833$$

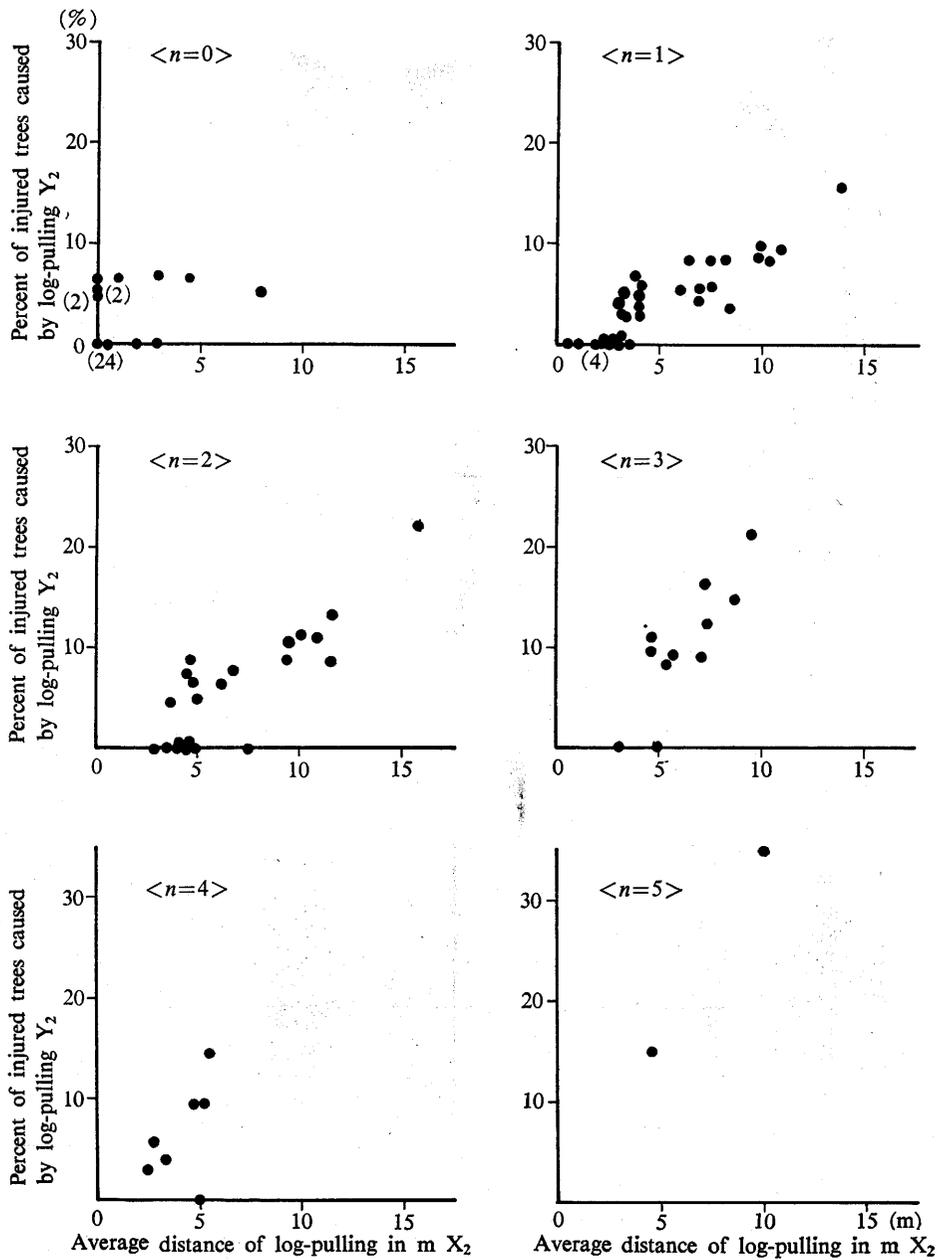


図-9. 伐倒本数別平均木寄せ距離と木寄せ被害率

Fig. 9. Relation of percent of injured trees caused by log-pulling by winch to average distance of log-pulling, by number of felled trees.

#### (4) トラクタ道延長距離と平均木寄せ距離

伐倒木を集材する際、ha 当りトラクタ道延長距離が長くなれば、換言すればトラクタ道の密度が高くなれば平均木寄せ距離が短くてすむ。いま集材本数別に単位プロット当りのトラクタ道

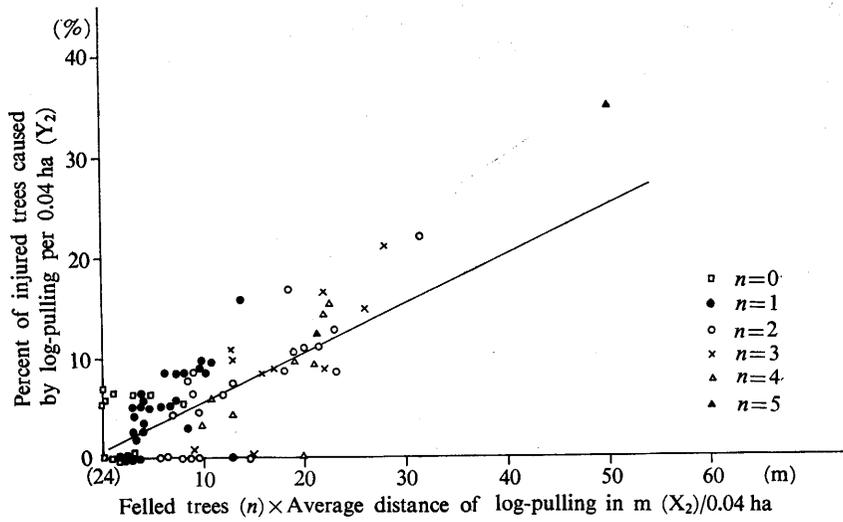


図-10.

Fig. 10.

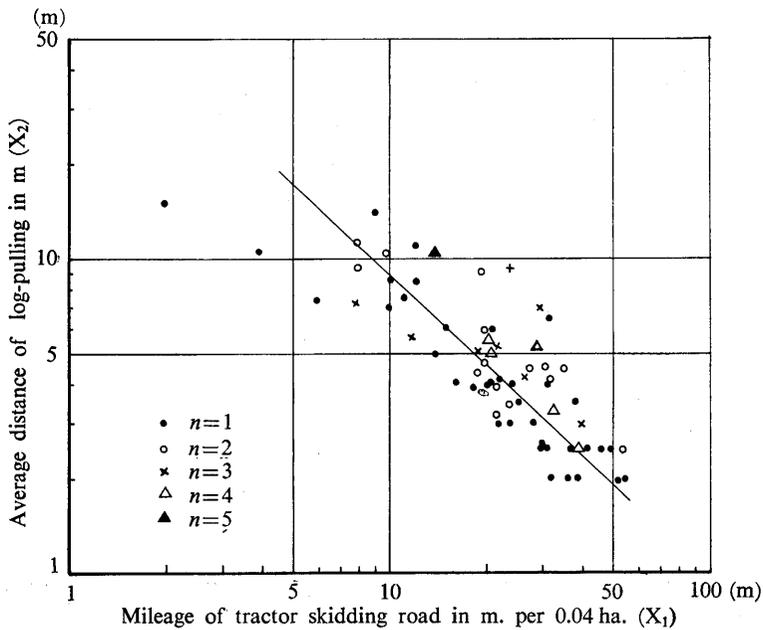


図-11. トラクタ道延長距離と平均木寄せ距離

Fig. 11. Relation of average distance of log-pulling to mileage of tractor skidding road in m per 0.04 ha.

延長距離  $X_1$  と平均木寄せ距離  $X_2$  の関係を示すと 図-11 のようになり、(11) 式が得られた。

$$X_2 = 33.19 X_1^{-0.6398} \tag{11}$$

$$r = 0.7219$$

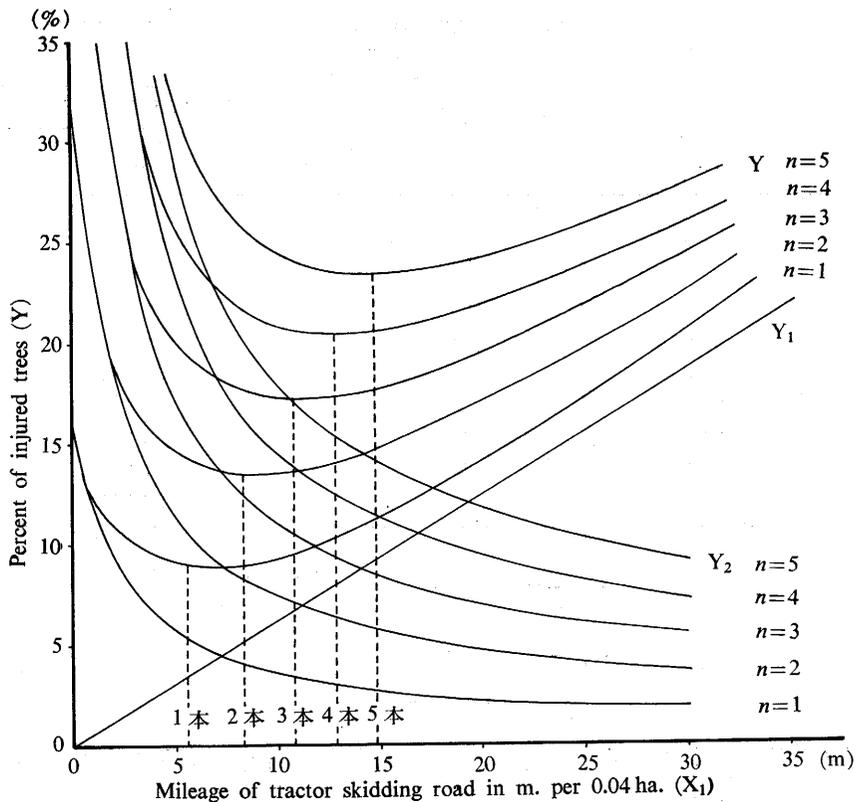


図-12. 伐倒本数別最小被害率を与えるトラクタ道延長距離

Fig. 12. Relation of percent of injured trees to mileage of tractor skidding road per 0.04 ha subjecting slope of terrain and term of constant to zero, by number of felled trees. The mileage of tractor skidding road per plot to minimize the percent of injured trees for each number of felled trees is given by a dotted line.

#### (5) 被害率を最小にするトラクタ道延長距離

立木の被害率に影響を及ぼす諸因子と被害率との相関分析の結果、単位プロット当りの被害率  $Y$  は  $Y_1 + Y_2$  であるから、(5) 式と (10) 式より、(12) 式のごとく示される。

$$Y = 0.6236X_1 + 0.4853n \cdot X_2 + 3.5479 \log S - 4.0291 \quad (12)$$

ただし  $X_1$  = トラクタ道延長距離 (m),  $X_2$  = 平均木寄せ距離 (m),  $n$  = 伐倒本数,  $S$  = 傾斜 (%) でいずれも単位プロット当り (20 m × 20 m) である。

平均木寄せ距離  $X_2$  は (11) 式よりトラクタ道延長距離  $X_1$  に変換できるので (12) 式は次のように表わすことができる。

$$Y = 0.6236X_1 + 16.1071n \cdot X_1^{-0.6398} + 3.5479 \log S - 4.0291 \quad (13)$$

(13) 式はトラクタ道延長距離  $X_1$  に関し増加関数と減少関数の合成関数であるから、被害率  $Y$  は最小値を有する。そこで、被害率  $Y$  を最小にするトラクタ道延長距離を求め次式を得た。

表-6. 被害率を最小にするトラクタ道延長距離 (0.04 ha 当り)

Table 6. Mileage of tractor skidding road per unit plot to minimize percent. of injured trees for each number of felled trees.

Number of felled trees $n$	Mileage of tractor skid. road $X_1$	Percent of injured trees $Y$	1.5983 $X_1$ +3.5479 log S-4.0291		
			S 10%	S 20%	S 30%
1	5.531	8.842	8.361	9.429	10.054
2	8.441	13.493	13.012	14.080	14.705
3	10.807	17.277	16.796	17.864	18.489
4	12.880	20.592	20.111	21.179	21.804
5	14.757	23.593	23.112	24.180	24.805
6	16.493	26.368	25.887	26.955	27.580
7	18.118	28.964	28.482	29.551	30.176
8	19.657	31.423	30.942	32.010	32.635
9	21.121	33.766	33.285	34.353	34.978
10	22.522	36.004	35.523	36.591	37.216

$$\frac{dY}{dX_1} = 0.6236 - 10.3053n \cdot X_1^{-1.6398}$$

$$\frac{dY}{dX_1} = 0 \quad \text{より}$$

$$X_1 = 5.5323n^{0.6098} \quad (14)$$

(14) 式は、被害率  $Y$  を最小にするトラクタ道延長距離  $X_1$  が、伐倒本数  $n$  によって指数関数的に増加することを示す。

さて、(14) 式を

$$n = 0.0605X_1^{1.6398}$$

とし、これを (13) 式に代入して (15) 式を得る。

$$Y_{\min} = 1.5983X_1 + 3.5479 \log S - 4.0291 \quad (15)$$

(15) 式は被害率の最小値はトラクタ道延長距離 1 m 延びる毎に、約 1.6 倍増加する直線式で表わされることを示す。

図-12 は傾斜  $S$  および定数項を 0 とした場合の単位プロット当りの被害率  $Y$  とトラクタ道延長距離  $X_1$  の関係および伐倒本数 1~5 本におけるそれぞれの被害率最小値とその時のトラクタ道延長距離を示したものである。

図-12 から、伐倒本数 1 本の場合についてみると、トラクタ道延長距離が単位プロット当り約 5.5 m の時が被害率を最小にし、それより延長距離が短くなると被害率は急増することがわかる。これは木寄せ作業による被害が大きく影響することを示しており、傾斜  $S$  が約 13% 以上になると被害率はさらに高くなることが推察される。トラクタ道延長距離が約 12 m 以上になると、被害率はトラクタ走行の影響によるものが大勢を占め、木寄せ作業による影響は少なくなり、被害率はトラクタ道 1 m の増加に対して約 0.6 倍の割合で単調に増加している。同様に、被害率

を最小にするトラクタ道延長距離は、伐倒本数  $n=2$  本で約8.5 m,  $n=3$  本で約 11 m,  $n=4$  本で約13 m,  $n=5$  本で約 15 m となった。

表-6 は各伐倒本数に対し被害率を最小にするトラクタ道延長距離を示したもので、右欄は傾斜  $S$  および定数項を加えた場合の被害率最小値である。

## 6. ま と め

東京大学農学部付属北海道演習林における針・広混交天然林の択伐作業を対象とした調査地を設定して、トラクタ集材作業による残存立木に対する被害率に影響を及ぼす因子について考察した。その結果、トラクタ集材による残存立木の被害率は、伐倒本数、地形の最大傾斜および平均木寄せ距離の各因子を含む多重回帰式で表わすことができる。

さらにこの被害率は単位プロット内のトラクタ道延長距離の関数式で表わすことによって、被害率を最小にする単位プロット内のトラクタ道延長距離を伐倒本数の指数関数式として示すことができる。

本研究に関連した調査は今後も引続いて行なうわけであるが、特に立木の受けた損傷の程度と損傷木の生育状態についてさらに追跡調査を続ける必要があるし、立木分布パターンがランダムパターン以外の場合についても同様の研究をすすめる必要がある。

## 引 用 文 献

- (1) HEDÉN, S.: Preliminary Report on an Investigation concerning the Influence on Yield of Tractor Logging in Thinning. Thinning and Mechanization, IUFRO Meeting, Sweden, 131-135, 1969.
- (2) BRADLEY, R. T.: Damage to Trees, Ground and Roots. Thinning and Mechanization, IUFRO Meeting, Sweden, 130, 1969.
- (3) OMBERG, H.: The Formation of Tracks made by Forwarders on Forest Soil. Thinning and Mechanization, Sweden, 144-150, 1969.
- (4) NILSSON, P. O. and A. HYPPELÉ: Studies on Decay in Scars of Norway Spruce. Thinning and Mechanization, IUFRO Meeting, Sweden, 141-143, 1969.
- (5) KÄRKKÄINEN, M.: A Study on Tree Injuries caused by Mechanical Timber Transportation. Thinning and Mechanization, IUFRO Meeting, Sweden, 136-140, 1969.
- (6) OKAWARA, S., S. TOZAWA und M. SHISHIUCHI: Eine neue Methode des Holzrückens mit leichter Kurzstreckenseilförderanlage (V). J. Jap. For. Soc. 53, 271-278, 1971.
- (7) 清藤 孝, 鈴木澄夫: 保残木施業地における集材方法の実験結果について. 林野庁業務課技術開発資料 47-6, 1972.
- (8) 林野庁監修, 林業技術事例集 (伐木・集運材編), 日林協, 東京, 1968.
- (9) CLARK, P. J. and F. C. EVANS: Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations, Ecology, 35, 445-453, 1954.
- (10) イェーツ M. H.: 計量地理学序説, 238 pp, 好学社, 東京, 1970.
- (11) 豊川勝生: トラクタ集材と被害木について, 卒論 (未発表), 1970.
- (12) 藤原登他: 天然林施業における伐木集運材作業の一例, 日林北支講, 18, 1969.

(1973年6月29日受理)

### Summary

I. The end of the study is to investigate practically and analitically the tree injuries caused by tractor logging operation in connection with influencing factors of injuries such as the number of standing trees, the distribution pattern of standing trees, the number of felled trees, the distance of log-pulling with winch on the tractor, the mileage of tractor skidding road and the slope of terrain.

II. In 1969, the study area of 5.12 ha was prepared in the Comparment No. 44, No. II Management Area, the Tokyo University Forest in Hokkaido, where the practical logging operation by tractors was going on. The study area was situated in the mixed stand of coniferous and broad leaved trees of natural forest around 700 m above the sea level, where *Abies sachalinensis*, *Picea ezoensis*, *Quercus crispula*, *Acer pictum*, *Tilia japonica* and *Betula ermanii* are dominant trees. In the forest on and around the study area, the number of standing trees over 6 cm DBH is about 730 per ha (the ratio of coniferous to broad leaved trees, 4:6), stumpage volume 273 cu. m per ha (the ratio of coniferous to broad leaved trees, 7:3). The average slope of terrain of the study area was 13.5%. It is rather mild and suitable for tractor logging operation. Soil is made of sandy loam, the mother rock material of which is quartz trachyte. The ground is covered with dense Sasa vegetation and there are fallen trees and rotten stumps so that they make, more or less, the obstacle for tractor logging operation. In the area, operation roads (very simple structured road on which the loaded truck can run only during the frozen season) were constructed with the road interval of about 200 m.

III. The working system is based on the selective cutting system. The rotation is 20 years. The rate of selection is not more than 25% by volume and the cut volume is around 60 cu. m per ha per rotation.

Limbing and cross cutting to make 3.65 meter logs by chain saw was carried out at the felling site. The logs were pulled, using the winch mounted on the tractor, on the tractor skidding road (hereafter this process will be called "log-pulling by winch"). Several numbers of cross-cut logs collected in this way were ground-skidded to a landing along the operation road (thir process will be called "tractor skidding"). The tractors used were two crawler tractors, D4D (7.9t) and CT-35 (5.5t), and a wheel tractor FT-2 (3.0t).

IV. The study area was divided into 128 plots with the size of a plot of 20 m×20 m (0.04 ha). The information map of the study area was prepared based on the field survey. The map comprised the positions of standing trees with the marks distinguishing coniferous and broad leaved trees, the diameter groups of DBH below 6 cm, 6-20 cm and over 20 cm. By the method of every tree measurement before felling, after felling and cross cutting, and after skidding operation, the injured trees caused first by each phase of logging were recorded; i.e. by felling and cross cutting by chain saw, log-pulling with winch on the tractor and skidding to a landing by tractor.

As injuries breaking of the stem and big branches, scars of stems with more than 10 sq. cm and the trees disappeared e.g. by tractor running were recorded.

V. Results obtained are summarized as follows.

1. The pattern of the distribution of standing trees of the area was the random pattern according to the "nearest neighbor method".

2. The percent of injured trees caused by tractor skidding operation was approximately the same or the double of that caused by winch-pulling (Table 1).

3. The correlation coefficient between the number of injured trees ( $y$ ) and the number of standing trees ( $N$ ), the number of felled trees ( $n$ ), the slope of terrain ( $S\%$ ) and the mileage of tractor skidding road ( $x$  in meter) (each of these factors was per ha) was higher than 0.9 respectively, and the respective relationship was obtained by the linear equations (Eq. 1-4).

4. As the results of analysis of variance, the difference between the slope of terrain and the number of standing trees was statistically significant with the significance level of 1%, between the slope and the number of felled trees with 5%. The interaction between the number of felled trees and that of standing trees was statistically admitted (Tables 2, 3). There was also the statistical interaction between the number and the distribution pattern of standing trees, and this suggests that the percent of tree injuries will be changed according to the difference of the pattern of tree distribution. The number of injured trees caused by tractor skidding was statistically significant only regarding the number of standing trees with the significance level of 5%. The number of injured trees caused by log-pulling with winch was statistically significant regarding the slope and the number of standing trees with the significance level of 1%, respectively (Tables 4, 5).

Based on the above, both injuries caused by tractor skidding and log-pulling with winch were, as quite natural, strongly influenced by the number of standing trees.

5. The inclinations showed that the percent of injuries caused by tractor skidding increased according to the increase of the slope (Fig. 8). The equations explaining the relationships between the percent of tree injuries ( $Y_1$ ) and the mileage of tractor skidding road ( $X_1$ ) in the unit plot were obtained by slopes (below 10%, 10-20% and above 20%), with the respective correlation coefficient over 0.95 (Eqs. (6), (7), (8)).

6. The greater the average distance of log-pulling with winch became and the more the number of winch-pulled logs became, the greater became the percent of injured trees (Fig. 9). The equation showing the relationship between the product of the number of the winch-pulled logs and average distance of log-pulling ( $nX_2$ ) and the percent of trees injured ( $Y_2$ ) was obtained, with the correlation coefficient of 0.77 (Eq. (9)). At the same time as the results of analysis of variance, in order to test the significance of difference between the percent of injuries trees by slopes  $A_1$  (below 10%),  $A_2$  (10-20%) and  $A_3$  (over 20%), there were statistically admitted significances between  $A_1$  and  $A_2$ , and between  $A_1$  and  $A_3$ .

7. The percent of trees injured was expressed by the multi-regression equation

including the influencing factors i.e. the average distance of log-pulling ( $X_2$ ), the number of felled trees ( $n$ ), the slope of terrain ( $S\%$ ) and the mileage of tractor skidding road ( $X_1$  in meter) (each factor was expressed by per unit plot) (Eq. (12)). The percent of injured trees was explained by the equation of compound function by the mileage of tractor skidding road (Eq. (13)). From this equation, the mileage of tractor skidding road to minimize the percent of tree injuries was expressed as an exponential equation by the number of felled trees (Eq. (14)).

8. Based on the above, the interrelationship between the percent of injured trees, the number of felled trees and the mileage of tractor skidding road was graphically expressed and at the same time it became possible to obtain practical figures of the tractor skidding road to minimize the tree injuries (Fig. 12).

The results obtained in this report will make contributions for arranging the tractor road network to minimize the tree injuries. Moreover it will give a practical information from quite a new standpoint to the operation road system which is closely related to the tractor skidding road system.