

作業道作設時の伐根処理作業における要素作業の分析

信州大学農学部 森林科学科 4年 ○^{むらい}村井 ^{ひでなり}秀成
信州大学農学部 近未来農林総合科学教育研究センター 助教 ^{さいとう}齋藤 ^{まさし}仁志
信州大学農学部 森林科学科 教授 ^{うえき}植木 ^{たつひと}達人
信州大学農学部 森林科学科 特任教授 ^{いのうえ}井上 ^{ひろし}裕

要旨

作業道作設時、伐根処理は多くの時間を要する作業です。作業道作設効率化の一助となることを目的に、伐根処理の要素作業に着目し改善点を探る研究を行いました。調査地の長野県内作業道作設現場において、伐根の環境条件の測定と時間解析を行うことにより、要素作業の特徴を検討しました。調査の結果、掘削と根起こしはDBHの影響を受けやすく、土落としと伐根移動は環境条件の影響を受けにくい傾向があることが明らかになりました。

はじめに

林業において道は、素材生産コスト削減や、現場までの移動時間の短縮などの効果をもたらします。そのため林業の現場では、かつ低コストで作設可能で持続利用を考慮した森林作業道が積極的に作設されています。しかし、適切な森林作業道作設には技術と経験を必要とします。森林作業道作設の過程には、支障木処理や掘削、転圧など多くの要素作業が含まれます。中でも伐根処理作業は森林作業道作設時の支障作業の1つとして挙げられます。既存の研究では、重機のバケット容量にもよるが伐根処理は全作業時間中、15~30%の時間を要する報告されています(平林ら、2009)。しかし、この研究ではDBHとバケット容量の他の条件に関して検討されていません。そこで、本研究では伐根処理時間と相関を持つ環境条件を調査し、その結果から伐根処理作業の改善点を検討することで森林作業道作設の効率化の一助となることを目的としました。

調査地と研究方法

現地調査は、長野県内の黒河内国有林(伊那市)、横川国有林(辰野町)、鹿嶺高原(伊那市)、市民の森(茅野市)、信州大学附属手良沢山演習林(伊那市)の5か所の作業道作設現場で行いました。主な樹種はカラマツ、ヒノキ、アカマツで、バケット容量は0.1~0.2m³(カラマツ、ヒノキ、アカマツ)と0.45m³(カラマツ)の重機を用いました。

作業中は、各支障木の調査項目を測定し、伐根処理の様子をビデオ撮影しました。調査項目は、胸高直径(以下DBH)、地山傾斜、伐倒高、伐根位置の4項目としました。DBHは、伐倒前に地面から1.2m地点の樹木の太さ、地山傾斜は、伐根の斜面上方と下方各2mの傾斜、伐倒高は、支障木伐倒終了後に、伐倒箇所^の地山からの高さ、伐根位置は、重機から見た伐根の位置を斜面の上、中、下の測定を行いました。

次にデータ解析として、撮影した映像から各要素作業の時間観測を行いました。伐根処理の要素作業は、支障木の周りを掘り、根を切断する「掘削」、伐根を起こす「根起こし」、根の土を落とす「土落とし」、起こした伐根を任意の位置まで移動する「伐根移動」、伐根を固定する「伐根固定」としました。これらの解析結果から伐根処理作業の改善点を検討しました。

本研究において伐根の処理時間としたのは要素作業の掘削と根起こしの合計時間です。土落としや伐根移動、伐根固定といった作業は、オペレーターの習熟度、オペレーターが行う作設工法によって時間が大きく変化する作業です。DBH や地山傾斜などの環境条件と直接的な相関を明らかにするため掘削と根起こしの合計時間を処理時間として検討しました。

1 処理時間の傾向

処理時間と4つの調査項目の相関を表-1に示します。調査項目の比較をするために、樹種と使用重機のバケット容量をカラマツ、0.45m³に揃え処理時間との相関を見たところ、DBHと伐倒高が処理時間と強い相関を示しました(p<0.01)。DBHは最も高い相関を示し、散布図は累乗曲線に近似しました(図-1)。伐倒高も同様に高い相関を示しました。DBHを21.0~26.9cmとしたときの処理時間は、伐倒高が高くなるほど短縮する傾向にありました。

表-1 調査項目と処理時間の相関係数

	DBH	地山傾斜	伐倒高	伐根位置
相関係数	0.833	0.070	-0.727	-0.082

カラマツ、0.45m³、N=86

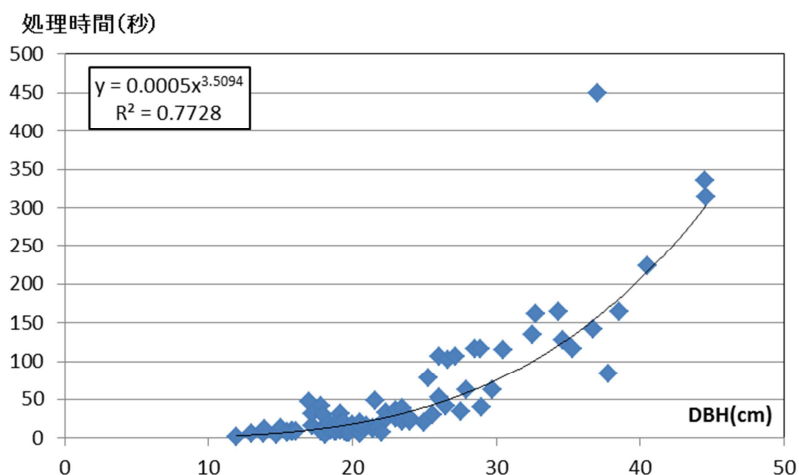


図-1 DBHと処理時間の関係

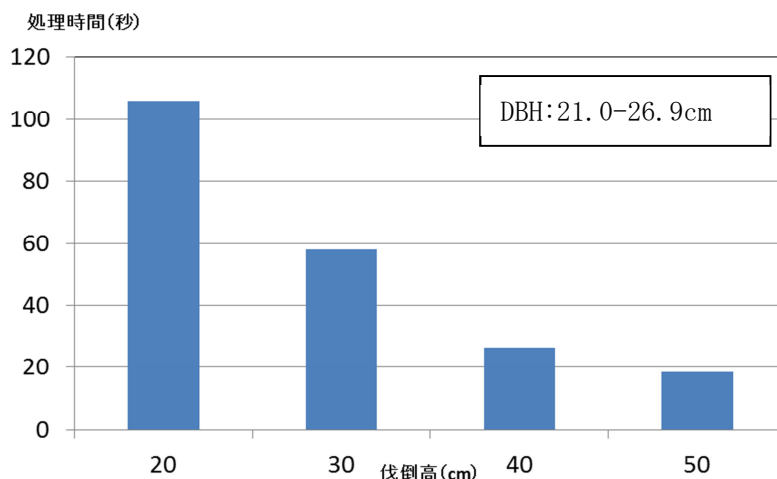


図-2 伐倒高と処理時間の関係

表-1 に、本研究で得た伐根処理データ全 174 個の要素作業比較を示します。分散は、掘削、根起こし、伐根固定が大きい値を示しました。それに対し、土落としと伐根移動の値は小さく、この2つの要素作業は条件による影響を受けにくいと考えられました。要素作業合計時間に占める割合は、掘削が3分の1以上を占め、伐根固定、根起こしも2割以上の割合を占めました。一方、土落としの時間割合は小さく、少ない傾向にありました。要素作業の合計時間との相関に関しては、掘削と根起こしが特に高い値を示しました ($p < 0.01$)。

樹種毎に結果を集計すると、要素作業の平均時間と割合は、樹種によって大きく異なる傾向となりました。表-3 に主要3樹種の要素作業の比較を示しました。特に割合に関して、樹種毎の差異が認められ、割合を図-3 に示します。カラマツは「伐根固定」が最も多くの割合を占め、続いて「根起こし」、「掘削」となっていますが、アカマツとヒノキは「掘削」が最大であり、アカマツにおいては60%を超える割合を示しました。

要素作業ごとの特徴の詳細については、各要素作業の説明で記述します。

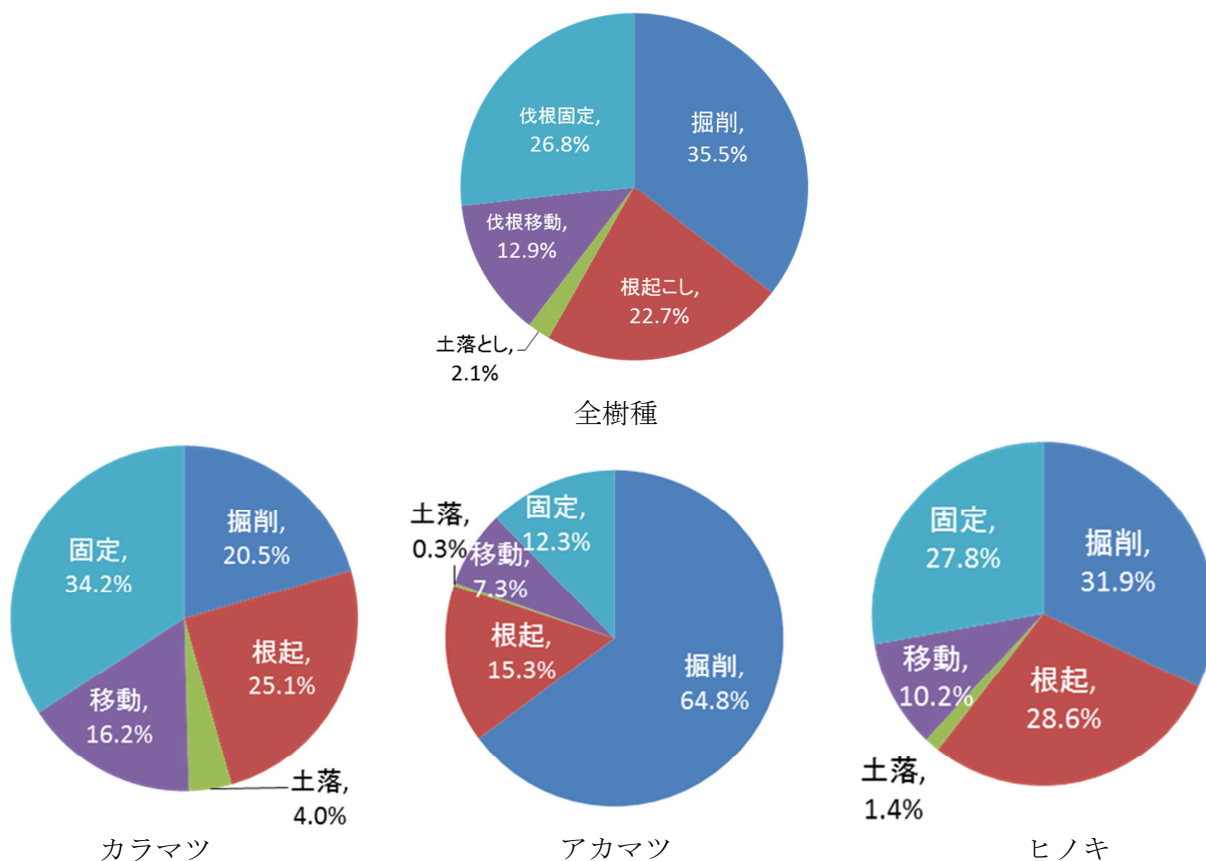


図-3 要素作業割合の樹種別比較

表 - 2 伐根処理データ集計

	掘削	根起こし	土落とし	伐根移動	伐根固定
平均時間 (秒)	55.8	35.8	3.4	20.3	42.1
分散	120.0	57.1	5.6	22.3	52.5
割合	35.5%	22.7%	2.1%	12.9%	26.8%
要素作業合計時間 との相関係数	0.92	0.77	0.04	0.39	0.59

表 - 3 割合と相関項目の樹種間比較

	カラマツ				アケボノ				ヒノキ						
	掘削	根起	土落	移動	固定	掘削	根起	土落	移動	固定	掘削	根起	土落	移動	固定
平均時間	23.6	29.0	4.6	18.7	39.4	342.5	80.6	1.4	38.8	65.1	54.3	48.6	2.4	17.4	47.3
分散	44.7	39.7	6.7	21.4	40.9	249.0	71.8	5.3	32.2	102.6	66.4	89.5	3.5	16.4	59.9
割合	20.5%	25.1%	4.0%	16.2%	34.2%	64.8%	15.3%	0.3%	7.3%	12.3%	31.9%	28.6%	1.4%	10.2%	27.8%
DBH	0.787 **	0.679 **	0.479 *	0.329	0.154	0.701 **	0.649 **	0.031	0.125	0.434	0.814 **	0.738 **	0.182	0.180	0.265
平均傾斜	0.018	0.097	-0.050	0.443	0.282	0.522	0.526	0.130	0.604	0.381	0.194	0.225	0.028	-0.184	0.520
伐根位置	-0.212	-0.229	0.168	-0.281	-0.049	-0.548	-0.600	0.175	-0.272	-0.709 *	-0.287	-0.155	0.009	-0.039	0.220
伐倒高	-0.059	-0.268	-0.223	-0.090	-0.020	-0.479	-0.476	-0.014	-0.108	-0.583	-0.166	-0.138	-0.094	-0.133	0.240
要素作業 合計時間	0.785 **	0.785 **	0.344 *	0.389 *	0.483	0.975 **	0.918 **	-0.121	0.292	0.745 *	0.877 **	0.914 **	0.181	0.203	0.394

備考 N=90 , 0.14m³, 0.45m³ N=14 , 0.13-0.20m³ N=40 , 0.1m³
 0.27以上で1%の危険率で有意(*) 0.66以上で1%の危険率で有意(*) 0.4以上で1%の危険率で有意(*)
 0.34以上で0.1%の危険率で有意(**) 0.78以上で0.1%の危険率で有意(**) 0.5以上で0.1%の危険率で有意(**)

2 各要素作業の特徴

(1) 掘削

掘削は DBH に大きく影響を受ける傾向にありました。要素作業の合計時間と掘削の相関に着目すると、3 樹種ともに 1% の有意で相関を示しました。図 - 4 に DBH5cm ごとの要素作業の時間比較を示します。DBH30cm 以下の伐根の場合、他の要素作業と大きな差は見られませんが、DBH30cm 以上の伐根では掘削の時間は急激に増加しています。そのため、割合も DBH30cm 以下では 20~30% ですが、30cm 以上では 50% を超える値を示しています (図 - 5)。これは DBH が 30cm 以上と太くなると、伐根の根系が太くなり根を切断する作業に多くの時間を必要とするためだと考えられます。

カラマツを 0.45m³ の重機で処理したもので、DBH27cm 以下の伐根では、掘削を行わず、根起こしを行うものがありました。27cm 以上の伐根では必ず掘削は行われました (図 - 6)。このことから掘削作業は DBH による影響は大きいと考えられます。

樹種の差でも掘削の時間割合は変化しました。カラマツ、ヒノキは掘削の割合が 20~30% 程度なのに対し、アカマツは 60% 以上の割合を占めています。この理由の 1 つは、アカマツの処理に用いた重機の出力が伐根の大きさと比較し小さかったことが考えられます。ヒノキとカラマツの平均 DBH はアカマツに比べ細く、カラマツはバケット容量 0.45m³ の重機を使用しており他の樹種で使用した重機よりも高い出力で作業しています。一方アカマツは小型の重機で太い伐根を処理していることから、重機の出力不足により掘削の時間の割合が増加したと考えられます。また同時に、樹種毎の根系の違いにより掘削時間の差が生じたとも考えられます。カラマツ、ヒノキの根系は、側根が発達するのに対し、アカマツは太い垂下根を伸ばします。そのため、アカマツはカラマツやヒノキよりも深く掘削する必要があり、そのためにより多くの時間を要したと推測されます。

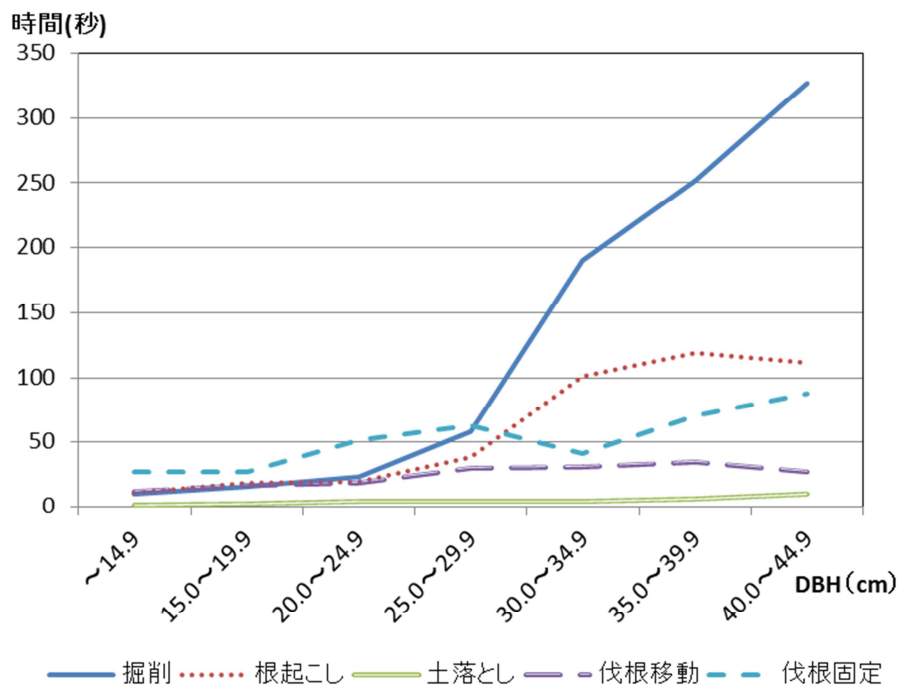


図 - 4 DBH による要素作業の変化

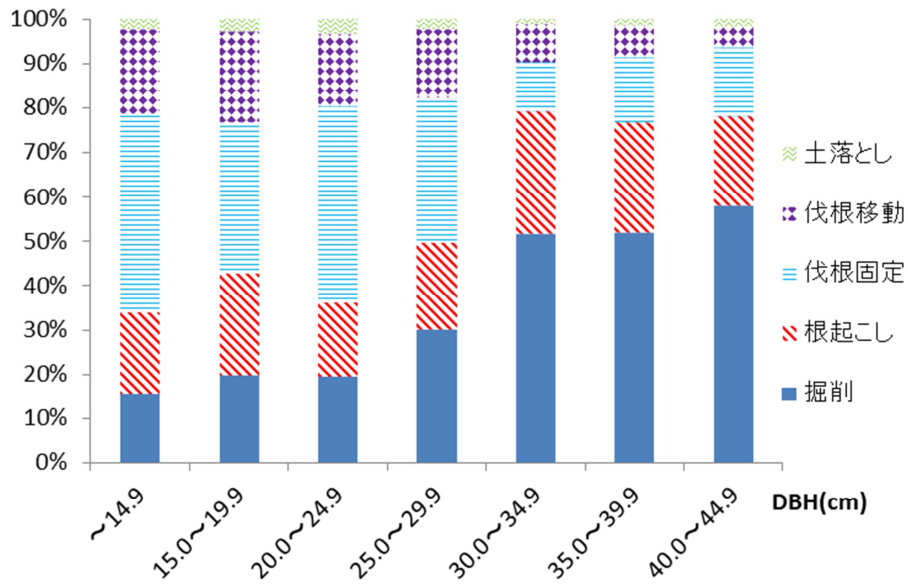


図 - 5 DBH による要素作業割合の変化

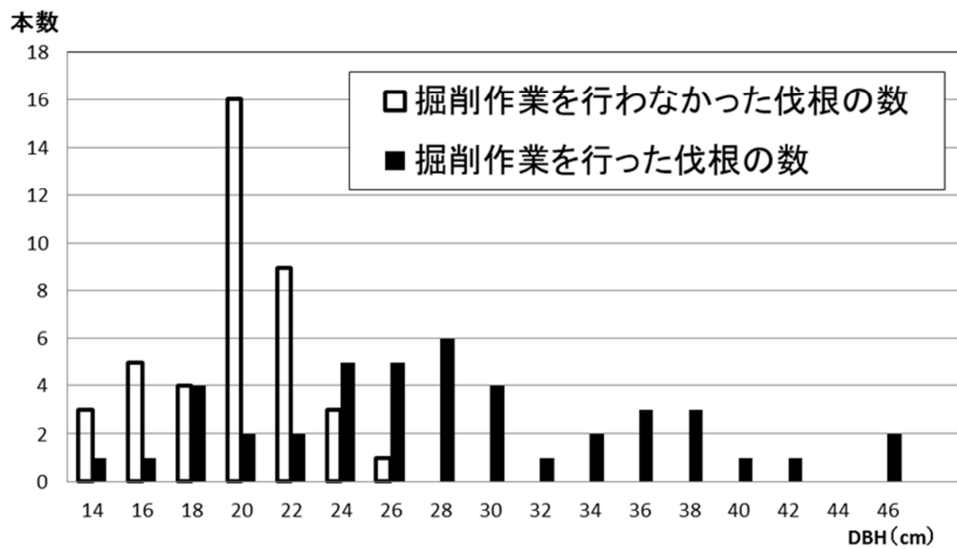


図 - 6 掘削の有無

(2) 根起こし

根起こしも掘削同様伐根処理の中で多くの時間を必要とする作業であり、樹種全体では要素作業全体の 20%程度を占めました。樹種別に関しては、アカマツで約 15%でしたが、ヒノキ、カラマツでは 25%程度と樹種間の割合の差は大きくありませんでした。他の要素作業と異なり必ず行われる作業でした。

DBH との強い正の相関を示しました。図 - 4 から、DBH30cm まで時間は徐々に増加する傾向が見られました。DBH が 30cm 以上の伐根では、時間の増加は見られなくなり、100~150 秒の間でほぼ一定の時間となりました。大きな伐根は、根起こし作業時に重機の出力で起こすことが難しいため、掘削に多

くの時間を必要とします。側根を切断し伐根の抵抗力を同程度まで低下させた後に根起こしが行われるため、根起こしの時間は一定となると考えられます。

(3) 土落とし

土落としの平均時間は3.4秒と一回の伐根処理作業の中では、最も時間を必要としませんでした。また、分散も小さく、条件変化による時間の増減が小さい要素作業であると考えられます。調査地ごとの時間の違いはわずかで、いずれの調査地においても土落としの時間割合はほかの要素作業と比べ低いことから、伐根処理作業に大きく影響する作業でないと推察されました。

土落としが行われなかったのは、全伐根処理174個のうち、91個でした。行われなかった伐根のDBHは、10cmから40cmと幅広くDBHに関係なく土落としが行われていました。傾斜に関しても土落としの時間と強い関係がないことから、土落としはオペレーターの意図によるものが大きいと推定しました。表-4に土落としの調査地比較を示します。土起こしの時間が2秒以内と短い伐根と、20秒以上時間かける伐根の割合は調査地ごとに大きく異なる傾向がありました。鹿嶺高原がすべての伐根で土落としを行っているのに対し、手良沢山演習林2か所と茅野の調査地では多くの伐根で土落としを行っていません。これにより、土落としの時間の違いはオペレーターや工法によるものが大きいと推測されました。

表-4 土落とし調査地別データ

調査地	主な樹種	バケット 容量 (m^3)	平均 DBH	平均 傾斜	平均時間 (秒)	2秒以内 の割合
黒河内国有林	カラマツ	0.45	19.4	23.8	3.3	51.9%
横川国有林	カラマツ	0.45	26.7	35.3	3.9	64.3%
鹿嶺高原	カラマツ	0.45	38.8	21.8	19.6	0.0%
手良演習林 (10/26)	ヒノキ	0.1	22.1	36.0	0.9	90.0%
手良演習林 (10/27)	ヒノキ	0.1	18.3	36.7	4.0	46.2%
手良演習林 (10/31.11/1)	ヒノキ	0.1	15.0	24.3	2.2	58.8%
手良演習林	アカマツ	0.2	32.8	28.0	4.0	80.0%
茅野市民の森	アカマツ	0.13~0.2	31.1	27.1	0.0	100.0%

(4) 伐根移動

全要素作業における伐根移動の割合は12.9%と、土落とし同様伐根処理全体では多くの時間を割く作業ではなく、樹種による割合の変化も小さい傾向にありました。分散は土落としに比べやや大きく、条件により時間を要する場合も観測されました。

伐根移動の時間が0秒であった伐根は、伐根の移動が行われなかった、つまり移動距離が0mの場合で、起こし終わった法尻等で伐根固定が行われました。伐根移動が一切行われなかったのは、174個のうち15個(平均DBH22.2cm)であり、そのうち半数の8個がDBH20cm以下の伐根でありました(表-5)。これらは容易に根起こしが可能な小さな伐根で、作業上支障がないためその場に固定されたと考えられます。一方で、伐根移動が行われなかった伐根にはDBH30cm以上の大きな伐根も含まれました。これらは伐根自体の重量が大きく、また路線上に存在しないため移動するよりもその場で固定し

た方が効率的と判断され移動されなかった可能性があります。実際 DBH30cm の伐根では掘削と根起こしの合計時間が 300 秒以上かかっているものが多く、作業時間の短縮を意図していると考えられます。

以上より伐根移動が行われなかった伐根は、伐根自体が小さく作業に支障がない場合と、大型であるが路線上に存在せず、その場で固定する方が効率的と判断された場合であると考えられます。

伐根移動はほかの要素作業と異なり、移動距離に大きく影響を受け、移動距離が遠くなるほど、時間は増加しました。また、移動距離の違いによる DBH と移動時間の関係では、移動距離が 1~3m と近ければ DBH が増加しても移動時間の増加は小さいですが、移動距離が 10m と距離が伸びると DBH 増加による伐根移動時間の増加率が大きくなる傾向を示しました。伐根の重量は伐根移動の速さとの関係性が強いと考えられますが、実際にはあまり大きく関係性なく、伐根位置も移動距離との関係性も示しませんでした。

樹種ごとのデータの中で、アカマツとカラマツにおいて平均地山傾斜に関して相関係数は高い値を示したが ($p < 0.05$)、これについては地山傾斜が急であると、大きな伐根の場合重力に従って移動でき効率的であったと考えられました。

表 - 5 伐根移動が 0 秒であった伐根データ

樹種	DBH (cm)	平均傾斜 (°)	掘削 (秒)	根起 (秒)
カエデ	8.6	14.0	0.0	4.4
オヒョウ	11.2	41.4	2.8	29.0
カラマツ	15.8	36.5	2.7	6.9
カラマツ	16.2	26.5	4.7	15.8
ヒノキ	18.7	27.6	110.0	41.8
カラマツ	18.8	21.6	5.4	13.0
カラマツ	19.0	21.8	0.0	16.8
カラマツ	19.2	21.6	0.0	11.0
カラマツ	22.3	18.9	19.0	5.2
カラマツ	23.5	21.6	0.0	21.6
カラマツ	25.0	24.2	0.0	19.9
カラマツ	30.5	36.5	45.0	70.0
アカマツ	31.5	16.7	256.0	55.0
アカマツ	31.9	16.7	173.0	18.0
カラマツ	40.5	25.8	112.0	111.0

(5) 伐根固定

伐根固定は、要素作業の中では 23% の時間を要し、掘削、根起こし作業に次ぐ 3 番目に時間を要する作業でありました。さらに、伐根固定が行われたデータのみでの割合は 36.6% と、掘削、根起こし以上に最も多くの時間を必要としました。このように伐根固定作業は、行われなくても多いですが、行われると多くの時間を要する作業であると推察されました。

伐根固定が行われたのは、全 174 個の伐根処理のうち 69 個ありました。0 秒であった伐根を見ていくと、この作業も調査地ごとの差が大きいことが明らかとなりました (表 - 6)。鹿嶺高原と手良沢山演習林では伐根固定は行われませんでした。手良沢山演習林 2 か所で行われたのは研修であったので、伐根を利用しない工法の指導があったと考えられます。鹿嶺高原では、伐根が比較的大きく地山傾斜も緩かったことから、林内に置くだけで伐根が安定し効率的に作業を行うためこのような工法を選択していました。

伐根固定が行われた調査地を確認すると、横川国有林ではほとんどの伐根で伐根固定作業が行われています。黒河内国有林や手良沢山演習の2か所でも全体の80%以上の伐根で伐根固定作業が行われており、行われない調査地と行われる調査地の差がはっきり分かれる結果となりました。このことから、伐根固定は土落とし同様、オペレーターや工法による影響が大きいと推定されました。

伐根固定はアカマツの伐根位置と負の相関 ($p < 0.05$)、ヒノキの地山傾斜と正の相関 ($p < 0.05$) を示しました。しかし、これら2樹種は伐根固定作業が0秒である伐根が多いことと、他の樹種、他の相関項目で同様の相関を示していないことから、強い相関が出たのは処理時間が長いものと条件が偶然に重なったため、樹種と相関項目間の関係性は小さいと考えられました。

表 - 6 伐根固定調査地別データ

調査地	主な樹種	バケット 容量 (m^3)	平均 DBH	平均 傾斜	平均時間 (秒)	分散	伐根固定が行われなかった割合
黒河内国有林	カラマツ	0.45	19.4	23.8	24.8	22.7	19.2%
横川国有林	カラマツ	0.45	26.7	35.3	75.0	47.1	3.6%
鹿嶺高原	カラマツ	0.45	38.8	21.8	0	0	100.0%
手良演習林 (10/26)	ヒノキ	0.1	22.1	36.0	88.2	55.2	10.0%
手良演習林 (10/27)	ヒノキ	0.1	18.3	36.7	77.6	61.8	15.4%
手良演習林 (10/31, 11/1)	ヒノキ	0.1	15.0	24.3	0	0	100.0%
手良演習林	アカマツ	0.2	32.8	28.0	0	0	100.0%
茅野市民の森	アカマツ	0.13~0.2	31.1	27.1	101.2	114	44.4%

おわりに

本研究では、森林作業道作設作業の伐根処理に焦点をあて、要素作業の特徴を明らかにしました。掘削や根起こしはDBHや作設環境に関係性が強く、土落としと伐根固定はオペレーターや工法によって大きく時間が変化する傾向がありました。要素作業ごとに見ると、掘削、根起こし、伐根固定が多く時間を必要で、特にDBHが太い伐根の場合、掘削の割合がより大きくなることから、作業道作設の効率化のために掘削の改善が望ましいと推察されました。今後、オペレーターの習熟度による掘削方法の違いや樹種の根系に適した掘削方法を検討することで、伐根処理作業の短縮につなげたいと考えます。

引用文献

- 1) 平林慧遠、澤口勇雄、高橋健保、麻生臣太郎、立川史郎、佐々木一成、菊地智久 (2009) 「作業路の作設能率とコストに影響を与える要因」 岩手大学農学部演習林報告 p. 161-171
- 2) 苧住昇 (2009) 樹木根系図説. 誠文堂新光社