

育林作業の作業工程と地形・地理条件

Effects of Terrain and Geographical Condition on Operational Efficiency in Silvicultural Operations

當山 啓介・上村 佳奈・山崎 加奈・龍原 哲

Toyama, K., Kamimura, K., Yamasaki, K. & Tatsuhara, S.

キーワード: 育林作業, 作業工程, 地形・地理条件, 人工林

要約: 東京大学千葉演習林における昭和 53 年度から平成 17 年度までの育林作業記録を用いて各種育林作業の工程と地形・地理条件との関係性を調べ、またこの間の標準工程を算出した。年一回目下刈で傾斜が約 20 度以下の時に作業効率が悪いという点以外では、地形・地理条件で工程の統計的な関係を説明することはできなかった。実施本数あるいは実施面積といった事業量が少ない実施記録の間では工程のばらつきが大きかった。得られた標準工程によると、育林作業は従来より効率化あるいは省力化されていた。

Abstract: Effects of terrain and geographical condition on operational efficiency in silvicultural operations were examined and subsequently the operational efficiency was standardized depending on the single operations using the data of silvicultural operations from 1978 to 2005 in University Forest in Chiba, the University of Tokyo, Japan. No significant relationship was found between terrain and geographical condition and operational efficiency except the first thinning, which would require more labor for the site at $<20^\circ$ of slope than at $>20^\circ$. Variance of each operation was increased with decreasing workload, namely number of trees or area operated. The standardized operational efficiency showed the improvement or laborsaving of silvicultural operations in the experimental forest compared to the former one.

Keywords: Conifer plantation, operational efficiency, silvicultural operations, terrain and geographical conditions

1. はじめに

人工林の効率的な育成や収穫は、労働生産性や育林経費などを把握し、適切に配分することが不可欠である。特に育林の労働生産性は向上傾向にあるが、林業従事者が減少している現状では、今後の持続的森林経営は困難なものになると予想される(酒井, 2004)。さらに育林作業の大きな負担は、育林方法や採算性にも影響を及ぼし、例えば再造林放棄地の増加などの問題を引き起こしている(粟生ら, 2002)。このような問題を解決する一策として、育林作業の効率化、省力化が求められる。

育林作業の効率性や生産性には、森林の状態や天候、技術面など様々な因子が考えられる。特に地形・地理的条件などの移動時間や作業効率に係る因子については、いくつかの既存研究があげられる。近藤ら(2002, 2004)は、下刈りにおいて地形傾斜が大きいと移動距離が増えて移動速度が落ちること、10~20度程度の傾斜地で最も作業能率が高いことを報告している。また、植栽木以外の植生が雑草ならば能率がよいがススキでは悪い、といった植生の影響を指摘している。佐倉(1999)は、下刈り等育林作業と植林木の密度等の状態、立地条件と雑草木との関係を総合的に考察するとともに、南雲・北岡(1983)の記載をもとに東京大学千葉演習林における1955年から1984年までの30年間の施業資料に基づくスギ・ヒノキ人工林における標準的な育林作業工期(作業基準)を記載している(表1)。

能率や作業速度とも関係が深いと考えられる労働強度に関しては、藤林・辻(1956)はRelative Metabolic Rate(RMR, エネルギー代謝率)の観点から、地拵・下刈に関しては植生の種類、実施方法(筋刈・縦刈・横刈等)によって大きく違いがあるものの傾斜が10度~20度あるいは20度前後でRMRが最も低くなり、それは作業時の姿勢が楽なことなどによるとしている。林業機械化協会(1961)も数多くの作業事例におけるRMRと作業条件との関係を記録している。Toupin *et al.* (2007)は、賃金が実施作業量に比例する出来高払い制の下での除伐作業において、植被率・立木本数密

度・障害物密度が作業速度に負の相関があると同時に障害物密度と作業時の相対心拍数にも負の相関があることから、作業の行いやすい立地条件の所で集中して能率を上げて高い給料を目指すという作業者の行動パターンが認められるとしている。

しかしこれらの研究は、特定の作業のみに焦点をあてているため、持続可能な森林経営のための全体的な作業効率の向上に直接使用することが困難である。また、作業の程度や実施期間によって森林の状態が変化し、次の作業効率に影響を及ぼすことも考えられるため、作業間の解析も重要である。このような包括的に作業の標準工程を整備すれば、技術の改善や育林事業の計画化の際に目安とすることができる。さらに、育林作業の作業工程と地形・地理条件の関係が明らかになれば、ゾーニングや林分の適正配置を通じて、よりよい森林管理につなげられる可能性もある。そこで本研究では、各種育林作業の作業工程を地形・地理的条件、作業間の関係で説明することを目指してデータの整理及び分析を行った。

なお、「作業工程」を単純な作業速度と考えると、速度の増加のために作業の精度を下げってしまうことも考えられるため、一概に作業速度を追求することには危険性がある。さらに、労働衛生上の作業強度の観点からも、作業は速ければよいというものではない。また、本研究で用いるデータは、作業の精度や労働強度が検証できるものではない。従って本研究では、実際の作業では精度や労働強度の問題は前提として総合的に考慮されている

表 1. 千葉演習林における既存の育林作業標準工程

	地拵	植栽	下刈 (1回目)	除伐	枝打ち	保育 間伐
実施林齢	1	1	1~5	8~10	10~25	20~40
工程 (人工数/ha)	42.3	41.0	10.7	27.5	30~40	
備考		*	**		***	

注) 佐倉 (1999) をもとに、一部省略。

備考 *: 苗木運搬を含む, 備考 **: 手刈り. 1年生では省略も. 2~4年生では以前は年2回,
備考 ***: 全3回実施が理想.

と仮定し、その結果として作業速度から作業工期を直接算出できるものとした。

2. 材料と方法

分析には東京大学千葉演習林の「事業工期表」の記録を使用した。事業工期表は、月ごと・作業種ごとに作業者名・作業日・作業地名等を記録し整理したものである。本研究では、昭和 53 年度から平成 17 年度までの記録のうち、植栽・地拵・下刈・枝打ち・除伐・掃除伐（除伐と枝打ちを一緒に行う作業）に関するものをデータベース化し、掃除伐を除く 5 種の作業について分析した。なお、千葉演習林では下刈は下刈鎌による手刈りが主体であり、刈払機を使用したことが記載されている記録はデータベースに含めなかった。記録総数は 844 件である。

データベース化した項目は、「年度」「月」「場所 ID(林班, 小班記号, 小班番号)」「作業種」「人工数」「超過時間」「実施面積」「実施本数」「樹種」「備考(植栽年度など)」である。分析対象はスギ、ヒノキ、マツ類の人工林である。なお、勤務時間を超えて作業した時間数である「超過時間」は、1 時間あたり 1/6 人日として人工数に加算した。作業の人工数が 2 人日以下のものは分析対象から除外した。実施面積と実施本数は両者とも記録されている場合もあり、特に除伐は両者の記録されている数がほぼ同じであるが、その他の作業についてはほぼどちらかのみが記録されていた。具体的には、実施本数の記録は植栽、枝打ち、除伐に、実施面積の記録は地拵、下刈、除伐に残されていた。

また、千葉演習林の森林 GIS を用いて、上記施業記録の場所 ID から施業実施小班を特定し、10m × 10m の Digital Elevation Model (DEM) から該当小班の平均標高・平均傾斜を算出し、施業記録の属性とした。同時に、林地から最寄りの歩道までの林内歩行距離およびそこから最寄りの車道までの歩道歩行距離を 10m × 10m のセルごとに水平距離で求め、両者を合計した歩行距離を総歩行距離として小班ごとに平均値を算出し、施業記録の属性とした。なお、GIS と記録で区割りが異なって場所 ID が一致しない場合があったが、記録の場所 ID が GIS の場所 ID より小班番号で

細かく細分されている場合のみ、小班記号が一致するポリゴンの空間属性を代用して記録の属性とし、それ以外では空間属性なしとした。

さらに下刈については、植栽年度の記載およびそれ以前の作業記録から、下刈実施時の林齢および年度内一回目か二回目かを判別した。なお、判別ができなかった記録も存在した。

その上で、各種育林作業の工期（人日/100本、人日/ha）を施業記録の属性で説明することを試みた。データに偏りがある中で、非線形の関係も含めて作業工程と地形・地理条件の関係を概観するため、まず作業工程（人工数/100本あるいは人工数/ha）と作業地の平均傾斜および平均総歩行距離との間でノンパラメトリック回帰を行った。カーネル関数としては Epanechnikov 式を使い、グラフは使用データの幅 (bandwidth) を 20%~50% まで 5% 刻みで作成した。また、作業地の平均傾斜、平均総歩行距離などの各属性を説明変数として、各作業の工期を目的変数として重回帰分析を行った。さらに、同一作業地における以前の作業が後の作業に及ぼす影響の有無を調べるため、年度内最初の下刈における作業工程を対象に、前の年の下刈りが 2 回、1 回、0 回の 3 グループに分けてクラスカル・ウォリス検定を行った。最後に、各作業の標準工期を算出した。なお、分析には SPSS 16.0 と ESRI 社 ArcGIS9.2 を用いた。

3. 結果

作業工程と作業地の平均傾斜および平均総歩行距離との間で行ったノンパラメトリック回帰の結果を図 1 に示す。データが粗である部分は bandwidth が大きくなっている。下刈（一回目）は bandwidth が小さく、特に傾斜について平均 20 度あたりまで作業効率が上がるが、その後は比較的横ばいになっている。その他は、作業工程と平均傾斜および平均総歩行距離との間に明瞭な関係は認められなかった。

作業地の各属性を説明変数、各作業の工期を目的変数として重回帰分析を行ったが、明確な線形関係は認められなかった。

以前の作業が後の作業に及ぼす影響の有無を調べるため、年度内最初の下刈を対象に、前の年の下刈りが 2 回、1 回、0 回の 3 グループに分けて作

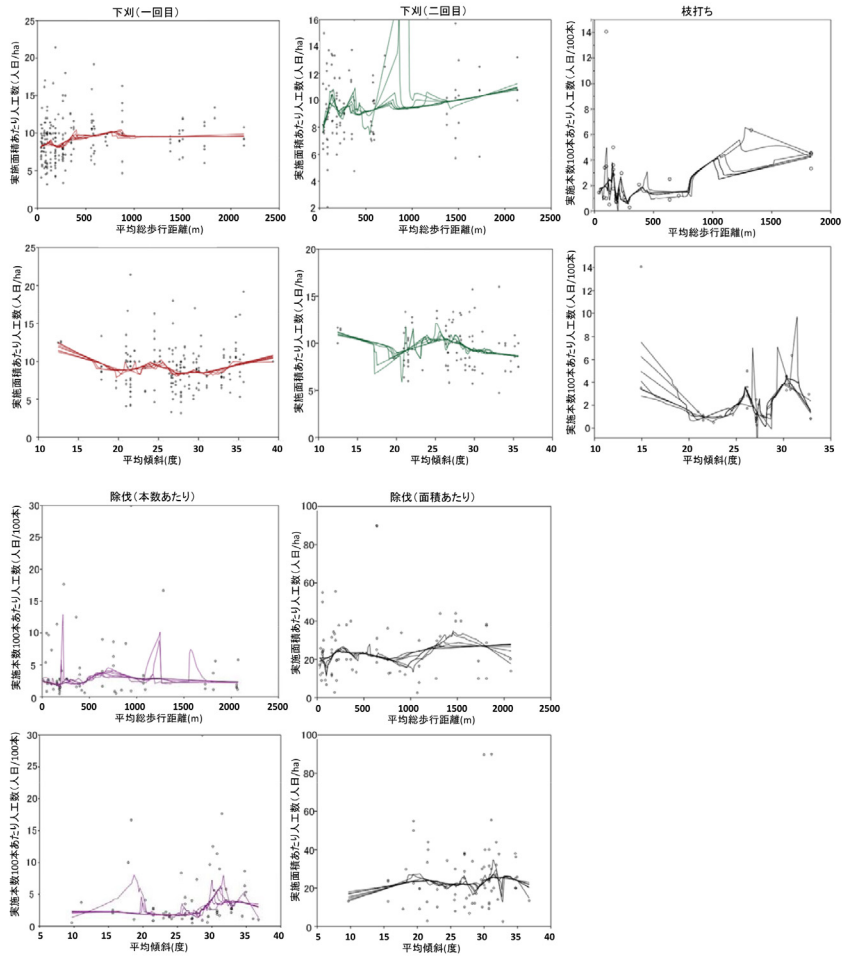


図 1. 作業工程と傾斜・歩行距離とのノンパラメトリック回帰

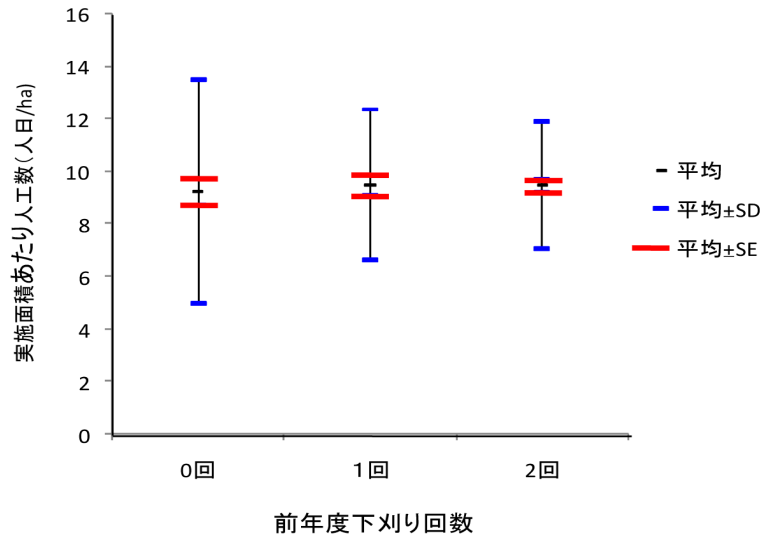


図 2. 前年度下刈り回数別の下刈り作業工程

業工程を比較した (図 2)。パートレット検定の結果、等分散性が棄却されたためクラスカル・ウォリス検定を行ったが、前年度の下刈り回数という水準間の工程に有意な差は認められなかった。

各育林作業における事業量 (実施本数あるいは実施面積) と作業工程 (人工数/100 本あるいは人工数/ha) との関係を図 3 に示す。事業量が実施本数で表される植栽、枝打ち、除伐および実施面積で表される下刈の散布図を見ると、作業工程のばらつきが事業量の増加に伴って減少していた。特に枝打ちと除伐ではその傾向が顕著であった。

従って、標準工程を算出する際には、十分に事業量の大きかった記録の値のみを用いるか、事業量の大きい記録の値を重みづけで重くして用いる必要があると考えられる。そこで、まず①全記録の平均工程、②事業量の多い方から半数の記録の平均工程、③全記録の合計人工数を全記録の事業量で除算した工程 (総和による工程) を表 2 に併記した。

上に挙げた三つの工程のうち①は、事業量の小さい記録におけるばらつ

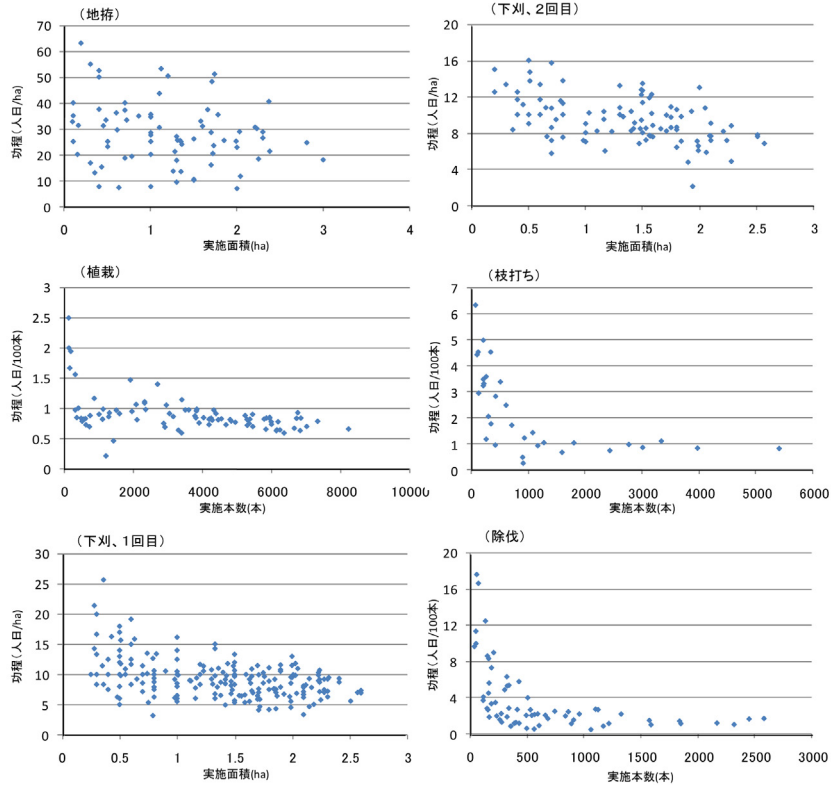


図 3. 作業工程と事業量の関係

注) 異常に工程の大きい履歴ははずれ値とみなし、地拵で 3 履歴、枝打ちで 1 履歴、除伐で 1 履歴を散布図から除外した。

きの影響を大きく受けるため、標準工程には適さないと考えられる。また、十分に事業量の大きかった記録の値のみを用いるとしても、その採否の閾値を客観的に設定することは難しく、②も標準工程には対応しにくいと考えられる。従って、③を標準工程とすることが妥当であると判断した。③を新しい標準工程とし、佐倉 (1999) の示した千葉演習林の標準工程と比較するために ha あたりの実施本数を植栽 4,000 本/ha、枝打ち 2,000 本/ha、除伐 1,000 本/ha と仮定する (現在の標準的な植栽密度は 4,000 本/ha よ

表 2. 新たに求めた標準工期

	地拵	植栽	下刈 (1回目)	下刈 (2回目)	除伐	枝打ち
記録数	80	89	225	110	69	33
①全記録の平均工期	34.56	0.89	9.40	9.53	4.00	2.57
②事業量上位半数の 記録の平均工期	25.85	0.79	8.28	8.66	1.85	1.20
(②の標準偏差)	(11.44)	(0.10)	(2.15)	(2.23)	(1.03)	(0.76)
③総和による工期	26.68	0.81	8.73	8.97	2.03	1.20
単位	人日/ha	人日/100	本人日/ha	本人日/ha	人日/100	本人日/100

表 3. 既存の標準工期との比較

	地拵	植栽	下刈 (1回目)	下刈 (2回目)	除伐	枝打ち
総和による工期	26.68	28.35	8.73	8.97	16.24	36.00
既存の標準工期	42.30	41.00	10.70		27.50	30~40

(単位は人日/ha)

り小さいが、比較のためにこの数値を採用した) と、新しい標準工期は ha あたりでは表 3 のようになる。これらから、単位面積あたりの作業に要していた人工数はこれまで考えられていた値より全体的に小さかった。

4. 考察

図 1 の下刈 (一回目) においては平均傾斜が約 20 度以上の小班で作業効率回帰値がほぼ一定となり、他の作業では明確な特徴は見出せなかった。また重回帰分析でも、作業地の傾斜、標高、歩行距離と作業工期の間に明確な関係性は見出せなかった。実際にこれらの地形・地理条件と作業工期の間に関係性が薄いことも考えられるが、10m × 10m の DEM から求めた平均傾斜が作業の行いやすさの指標として適切か、また林地から最寄りの歩道、そして歩道上を最寄りの車道へと進む水平距離の和が作業地への到達時間の指標として適切かどうかとも再検討が必要であると考えられる。近

藤ら (2004) が示した結果から「平坦地と急傾斜地での下刈は能率が悪く、緩傾斜地及び中程度の傾斜地では能率が良い」といえるが、本研究の結果はこれらとは大きく矛盾しなかった。ただし、本研究では平坦地におけるデータは欠落しているため、これを証明するには至らなかった。

事業量が小規模である場合の記録では、作業工程のばらつきが大きかった。とくに作業効率の低い記録が多く見受けられることの原因としては、半日単位で作業が記録されているにもかかわらず、実際にはそれ未満で作業が終わってしまうことなど、いわば作業内容以外の影響で見かけ上の作業工程が増加してしまうことが挙げられる。また、事業量が大きい場合には、微地形の複雑さや作業人員の能力差といった今回の分析で扱うことのできない要因の影響が収束し、ばらつきが小さくなることも考えられる。

また、地拵および下刈においては、小さな事業量の記録でも作業工程が極端にばらつくことがなかった。この原因としては、地拵および下刈が作業特性として過少な事業量の作業となることが少ない、あるいは実施面積が小さな場合でも十分な人工数を必要とするため過少と言えないことなどが原因と考えられるが、今後の精査が必要である。

育林作業に要していた人工数がこれまで考えられていた値より小さかった事に関しては、複数の原因が考えられる。一つ目は、従来よりも作業の省力化、効率化が進められている可能性である。二つ目は、既存の標準工程(作業基準)が、表1の「全記録の平均工程」のように、事業量の小さな事例の影響を受けすぎている可能性である。本研究では事業量の小さな事例において作業工程のばらつきが大きかったことが明らかになった。各種の育林作業のうち純粋に作業速度のみを考える際には、本研究のように全ての作業記録の総和から、あるいは事業量の大きな作業事例のみから標準工程を求めるのが妥当だと考えられる。しかし実際には、事業量が小さく作業工程がばらつく作業事例も多く、事業体の運営としてはそれらを含めた工程を把握することにも意義があると考えられる。

謝辞

本研究に際しては東京大学千葉演習林職員の方々に資料提供その他のご

協力をいただいた。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 粟生 裕美子・光田 靖・村上 拓彦・吉田 茂二郎・今田 盛生 (2002) GIS を用いた再造林放棄地の立地条件の解明, 九州森林研究 55: 38-41.
- 藤林 誠・辻 隆道 (1956) 林業労働図説 種苗・育林・撫育編, 地球出版, 東京, 209p.
- 近藤 耕次・吉田 智佳史・岡 勝・今富 裕樹・鹿島 潤・奥田 史郎 (2002) 下刈作業におよぼす諸要因の分析, 日林関東支論 53: 191-192.
- 近藤 耕次・吉田 智佳史・岡 勝・鹿島 潤・今富 裕樹・井上 源基 (2004) 下刈作業の作業能率に影響をおよぼす要因について, 日林関東支論 55: 299-300.
- 南雲 秀次郎・北岡 篤 (1983) 線型モデルによる収穫予定法の研究 (II), 東京大学千葉演習林における林道開設順序の決定, 日林誌 65: 172-178.
- 林業機械化協会 (1961) 林業労働の作業強度表 -エネルギー代謝率- (林業機械シリーズ 18), 林業機械化協会, 東京, 167p.
- 酒井 秀夫 (2004) 日本における林業活動と山村の持続的発展, 地学雑誌 113: 217-221.
- 佐倉 詔夫 (1999) スギ人工林における雑草木群落とその動態に関する研究, 東京大学学位論文, 229p.
- Toupin, D., LeBel, L., Dubeau, D., Imbeau, D. and Bouthillier, L. (2007) Measuring the productivity and physical workload of brush-cutters within the context of a production-based pay system, *Forest Pol. Econ.* 9: 1046-1055.