

## 優良苗の安定供給と下刈り省力化のための一貫作業システム体系の開発 — 緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコスト —

大矢信次郎・中澤昌彦\*・猪俣雄太\*・陣川雅樹\*・宮崎隆幸\*\*・

高野毅・戸田堅一郎・柳澤賢一・西岡泰久\*\*\*

皆伐と再生林を一連の作業として行う伐採・造林一貫作業が全国各地で実施され始め、皆伐時に使用した伐出機械を地拵え等に利用することにより、再生林作業の効率化とコストの低減が期待されている。本研究では、長野県の皆伐地4か所の緩傾斜地から中傾斜地において、バケットおよびグラップルローダによる機械地拵え作業を行い、その生産性とコストについて人力地拵え作業と比較した。その結果、同試験地・同傾斜の人力作業と比較して、両機械による地拵えの労働生産性は約2～12倍に増加、コストは14～90%に減少し、コスト削減効果が認められた。枝条量が少ない場合は両機械ともコスト削減効果が高い一方、枝条の量が多い場合は特にグラップルでは低コストになりにくいことが示され、機械地拵えのコストには枝条量が大きく影響していた。また、バケット及びグラップル地拵えの生産性と傾斜及び枝条層積の関係から重回帰式を求め、伐採前の林況から皆伐後の枝条量を推定した結果、バケット地拵えの生産性は予想枝条量と傾斜から皆伐前の予測が可能と考えられた。

キーワード：機械地拵え、一貫作業、枝条層積、傾斜、生産性予測

### 1 はじめに

皆伐作業と再生林作業を一連の作業として行う伐採・造林一貫作業（以下、一貫作業）が全国各地で実施され始めている（今富 2011；中村 2012；岡 2014；大矢ら 2016 など）。一貫作業では、皆伐時に使用した伐出機械を地拵えや苗木運搬等にも利用することによって、これまで人力によることが多かった造林作業を機械化し、再生林の各種工程を省力化することが期待されている（林野庁 2017a）。

一貫作業の中で、地拵えの機械化はコスト削減効果が比較的大きいとされている（佐々木ら 2013）。機械による地拵え作業が 1970 年代以前から先進的に進められてきた北海道では、皆伐後の林内に密生した丈の高いササを造林時に除去することが地拵えの主たる目的とされ、その作業方法は、ブルドーザの排土板による「全剥ぎ型」、ベースマシンの油圧ショベルにレーキ爪を装着した「レーキ型」、シュレッダ、マルチャーなどの「刈払い型」に大別されている（渡辺 2017）。

一方、長野県の人工林においては、ササの丈や密度が高い林床植生は北海道ほど多くなく、人工林面積の半数を占めるカラマツ林では、林床が比較的明るいため低層・中層に広葉樹が侵入してい

る場合が多い（小山・山内 2011）。皆伐時に伐倒されるこれらの広葉樹は、用材やパルプ材等として利用されるものを除き、林地に放置される場合が多く、地拵え作業では、ササなど前生の林床植生を刈り払う作業よりも、これらの広葉樹残材やカラマツ等の主林木の末木枝条、端材などの処理が大半を占めている。そのため、皆伐時に使用したグラップルローダ（以下、グラップル）や、作業道開設等に使用したバケットエクスカベータ（以下、バケット）のアタッチメントを機械地拵えに使用する事例が多くを占めている。

これまでに長野県の緩傾斜地において調査したグラップル及びバケットによる機械地拵え作業では、従来の人力作業に比べて、生産性は3～9倍に上がり、コストは25～75%に低減されることを報告した（大矢ら 2016）。また、南九州での先行事例では、グラップル等の機械地拵えによって、人力地拵えで14人日/haであった労働投入量が、平坦～緩傾斜地で1～2人日/haに、中～急傾斜地でも2～3人日/haに減少している（佐々木ら 2013）。また、北海道では単位面積あたりの機械地拵えの作業時間が、人力地拵えと比較して、バケットでは約33%（補正刈り含む）、クラッシャーでは約20%程度に低減されることが報告されており

\*（国研）国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所，\*\*元林業総合センター指導部，\*\*\*元林業総合センター育林部

(森林総合研究所北海道支所 2016), 機械による地拵え作業の生産性やコストは徐々に明らかになってきている。しかし, 機械地拵えの方法や生産性に関する研究事例は少なく, 技術が体系化されるには至っていない。また, 地拵え作業の生産性に与える要素については, 傾斜や, 枝条・端材等の林地残材量が考えられるが, これらについて詳細に検討された研究事例は見あたらない。そのため, 長野県の再生林の現場では, 機械地拵えを行うにあたって, 機械の選択, 作業の手順, 枝条集積の方法等について, それぞれの現場状況に合わせた手法によって実施されている。

本研究では, 現在長野県で行われている, 緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコストを明らかにするとともに, それらを伐採前の林況から予測することを目的とした。そのために, バケット及びグラップルを使用した機械地拵えと人力地拵えに関する功程調査を行い, 生産性とコストに及ぼす因子を分析した。

なお, 本研究の一部は森林利用学会学術研究発表会(大矢ら 2016), 日本森林学会大会(大矢ら 2019)において発表した。また, 本報は森林利用学会誌に掲載された論文(大矢ら 2018)を同学会の了承を得て転載・再構成したものである。

## 2 調査地と方法

### 2.1 調査地

地拵え調査は, 長野県北部・信濃町の霊仙寺山国有林(以下, 霊仙寺), 長野県東部・御代田町の浅間山国有林(以下, 浅間)と長和町の大門山国

有林(以下, 大門), 長野県中部・諏訪市の民有林(以下, 諏訪)の4か所の皆伐地において行った。地拵え試験の実施日は, 霊仙寺が2016年6月22日, 大門が2016年7月8日, 浅間が2016年8月26日, 諏訪が2017年7月3日である。

以上の試験地では, 地拵えに先立ち車両系作業システムによる皆伐作業が行われた。皆伐前の造林木は, 霊仙寺はスギ, その他3か所はいずれもカラマツであった。各試験地ともバケットを使用して作業道が開設され, 伐倒はチェーンソー, 作業道への木寄せ・造材はグラップルとプロセッサ, 林道沿いに設けられた土場への集材はフォワーダが使用された。なお, 浅間, 大門, 諏訪では傾斜にかかわらず作業道以外の林内においても機械が走行したが, 霊仙寺では林内走行は行われず, 作業道から伐倒木を直接機械がつかむことができない場合はグラップルまたはプロセッサに搭載された単胴ウインチを使用した木寄せ作業が行われた。

### 2.2 地拵え方法

試験地ごとの地拵えの方法, 傾斜を表-1に示した。なお, 本稿では緩傾斜地を0~15°, 中傾斜地を15~30°として定義する(林野庁 2017b)。

霊仙寺と浅間では, 緩傾斜地と中傾斜地において, バケット及びグラップルによる機械地拵えと, 人力地拵えを行った。霊仙寺では, 機械が斜面上方から後退しながら, 機体前方左右の枝条を機体前方に等高線と直交する方向に集積し(図-1), 列を変えながら伐採面の全面において作業を行った。浅間では機械が伐採地を自由に走行し, 斜面下方の作業道脇に等高線と平行に枝条を集積する

表-1 各試験地の林分状況及び地拵え区分ごとの平均傾斜と作業面積

試験地	所在地	標高 (m)	伐採前の林況			地拵え区分ごとの平均傾斜(°)と[作業面積(m <sup>2</sup> )]					
			主林木の 樹種と林齢	立木密度 (本/ha)	林分材積 (m <sup>3</sup> /ha)	バケット		グラップル		人力	
						緩傾斜	中傾斜	緩傾斜	中傾斜	緩傾斜	中傾斜
霊仙寺山国有林	信濃町	820	スギ 60年生	648	486	9.6 [747.4]	24.5 [250.5]	9.3 [659.3]	22.3 [152.6]	9.3 [354.3]	21.5 [185.5]
浅間山国有林	御代田町	1,330	カラマツ 64年生	648	321	5.7 [646.8]	25.6 [511.1]	5.8 [635.2]	26.3 [580.2]	7.6 [392.5]	22.0 [372.3]
大門山国有林	長和町	1,340	カラマツ 100年生	416	366	2.0 [878.9] 3.2 [651.3]	—	—	—	—	—
諏訪市団体育林	諏訪市	1,230	カラマツ 60年生	269	311	—	—	6.1 [2495.6] 6.6 [1109.7]	—	—	—

(図-2)という作業手順とした。人力地拵えでは、作業員2人が斜面上部から下部に向かって枝条を寄せ、鎌及びチェーンソーを使用しながら適宜棚積みを行う作業方法とした。

大門では、緩傾斜地においてバケットが前進しながら枝条を寄せるバケット地拵えを行った。

諏訪では、緩傾斜地においてグラブによる地拵えを行った。棚積みは、斜面を傾斜方向に移動(下りまたは上り)しながら、機体側方の傾斜方向に枝条を順次集積した。

なお、各試験地のバケット及びグラブは、原則としてバケット容量0.45m<sup>3</sup>クラス(旧JIS表示)の中型ベースマシンを使用し、諏訪のみ同0.20m<sup>3</sup>クラスの小型のベースマシンを使用した(表-2)。

各地拵え作業はビデオカメラにより記録し、作業時間と処理面積(電子コンパスによる測量、面積には地拵え棚を含む)から地拵えの労働生産性(m<sup>2</sup>/人時)を求めた。

### 2.3 枝条量の算定

地拵えを行う際、伐採地に存在する末木枝条、端材等の量の多少によって、地拵えの生産性は異なると考えられる。したがって各調査地では、地拵えによって生じた枝条等の量を把握するため、試験区ごとに集積した地拵え棚の層積を測定した。

層積の測定は、棚の幅と最大高を起点から終点まで延長方向1mごとに行い、その垂直断面を半楕円形として近似することにより求めた(図-3)。延長方向  $n$ (m)における棚断面から楕円面積  $A_n$ (m<sup>2</sup>)を式(1)、楕円錐台の体積  $V_n$ (m<sup>3</sup>)を式(2)により求め、式(3)により枝条の層積  $V_s$ (m<sup>3</sup>)を算出した。

$$A_n = \pi H_n \frac{W_n}{2} \quad (1)$$

$$V_n = \frac{A_n + A_{n+1} + \sqrt{A_n \cdot A_{n+1}}}{3} \quad (2)$$

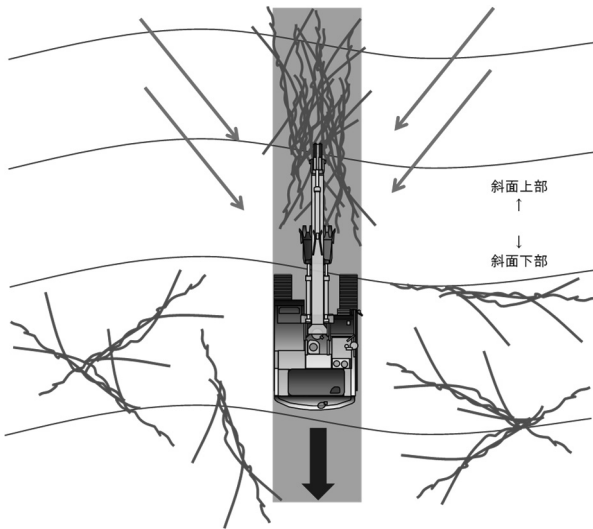


図-1 霊仙寺山国有林における機械地拵え作業手順

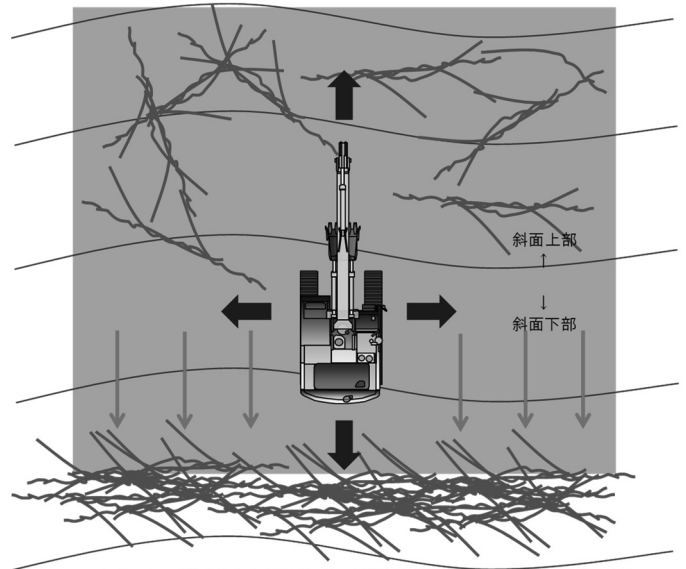


図-2 浅間山国有林における機械地拵え作業手順

表-2 各試験地における使用機械の機種名および基本的な仕様

試験地	バケット		グラブ		
	機種名	最大作業範囲(mm)	機種名 (ベースマシン/アタッチメント)	最大作業範囲(mm)	最大開き幅(mm)
霊仙寺山国有林	コマツ PC138US	8,300	コベルコ SK135SR-2F/ 南星 BHS10KR-4	8,190	1,970
浅間山国有林	コマツ PC138US	8,300	CAT314C/ イワフジ GS-90LJ	8,300	1,960
大門山国有林	コベルコ SK125SR	8,190	—	—	—
諏訪市団体育林	—	—	日立 ZX50U/ イワフジ GS-50LJ	5,750	1,295

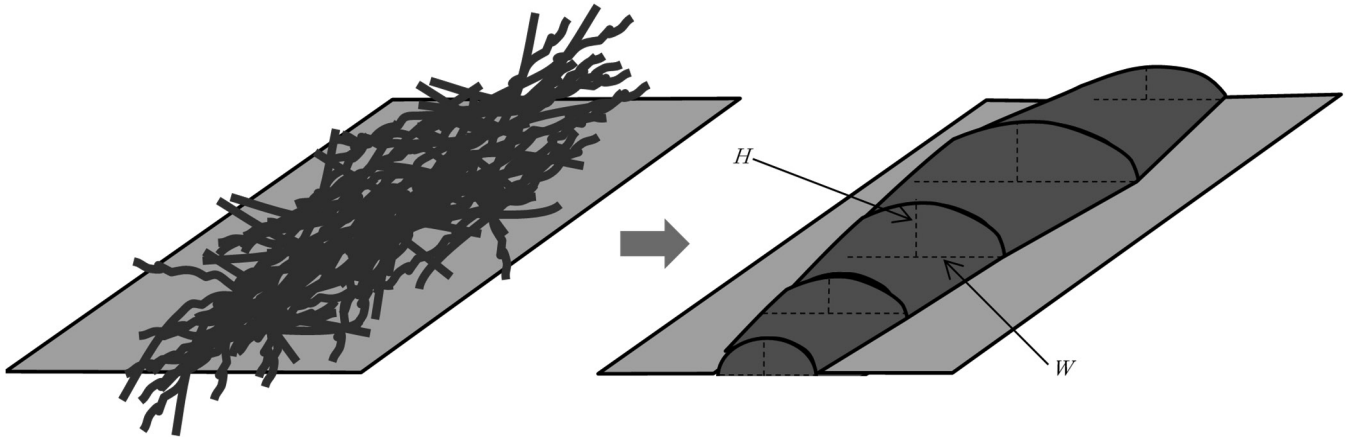


図-3 枝条層積の求積模式図

$$V_s = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^n V_i \quad (3)$$

ここで、 $A_n(m^2)$ は柵断面積の2倍に相当する楕円面積、 $H_n(m)$ は延長方向  $n(m)$ における柵の高さ、 $W_n(m)$ は柵の幅、 $V_n(m^3)$ は延長方向  $n(m)$ から  $n+1(m)$ における長さ  $1m$ の楕円錐台の体積である。

これらの算定結果から得られた各試験区の枝条層積量 ( $m^3$ )を試験区面積 ( $m^2$ )で除し、単位面積当たりの枝条層積量 ( $m^3/m^2$ )を算出し、機械種ごとの労働生産性及びコストとの関係を分析した。

### 2.4 地拵えコストの算出

地拵えコスト算定のための評価値は、既往の文献(全国林業改良普及協会 2001; 日本森林技術協会 2010; 長野県林務部 2017)から表-3のとおりを設定した。なお、本稿で示す地拵えコストの値は全て直接費(機械費, 作業員人件費)であり、事業体によって差が生じる間接費(機械運搬費, 人員輸送費等)は含めていない。

## 3 結果と考察

### 3.1 地拵えの労働生産性

#### 3.1.1 バケツ地拵え

まず、バケツによる地拵えの労働生産性は、最大値が浅間の緩傾斜地で約  $1,150m^2/人時$ 、最小値が霊仙寺の中傾斜地で  $400m^2/人時$ であった(図-4)。霊仙寺、浅間とも中傾斜地より緩傾斜地の方が生産性は高く、傾斜と生産性の間には負の相関関係がみられた( $R=0.727$ )ものの、単回帰分析の結果、回帰式は生産性の予測に有効とは言えなかった( $p>0.05$ )。中傾斜地ではブームの旋回とともにキャビンの傾斜方向が変わり、オペ

レーターの姿勢や機体のバランスが不安定になることから旋回範囲が制限される(オペレーターからの聞き取り)ため、緩傾斜に比べて生産性は低下する傾向にあるが、この一要因のみでは説明がつかなかった。なお、既往の研究では、霊仙寺における過去の機械地拵え結果(大矢ら 2016)では、平均傾斜  $11^\circ$ の伐採地におけるバケツ地拵えの生産性が  $238m^2/人時$ であったと報告しているが、これはササを剥ぎ取る地表かき起こし作業を兼ねていたため、本研究の結果より生産性が低かったと考えられる。

次に、単位面積あたりの枝条量と生産性の関係については、類似した傾斜同士で比較すると霊仙寺より枝条量が少ない浅間の方が生産性は高かった。バケツ地拵えの生産性は、単位面積あたりの枝条量が多いほど低下する傾向があり、両者には強い負の相関関係が認められ( $R=0.814$ )、単回帰分析の結果、回帰式は生産性の予測に役立つと判定された( $p<0.05$ )。両試験地の単位面積あたりの枝条量を比較すると、霊仙寺は浅間の  $2.0\sim 2.3$ 倍の枝条量があった(表-4, 図-5)。また、各試験地におけるバケツ地拵えの単位面積あたりの要素作業を比較すると、霊仙寺は「枝条等移動・柵積み(アーム・旋回)」の作業時間が浅間や大門に比べて長かった(図-6)。これらのことから、霊仙寺では枝条量が多く、その移動と集積に時間を要したため、生産性が低下したと考えられる。

以上の結果から、バケツ地拵えの生産性に影響を及ぼす因子は枝条量であり、傾斜も副次的な要因であることが示唆された。

#### 3.1.2 グラップル地拵え



グラップルによる地拵えの労働生産性は、最大値が浅間の緩傾斜地で 1,250m<sup>2</sup>/人時、最小値が霊仙寺の中傾斜地で 250m<sup>2</sup>/人時であり(図-4)、傾斜が大きい方が生産性は低下する傾向がみられた。緩傾斜地・中傾斜地とも浅間は霊仙寺の約3倍の生産性を上げ、類似した傾斜における試験地間の生産性の差が大きかったため、グラップルの生産性と傾斜との間の相関関係は弱く(図-4,  $R=0.246$ )、単回帰分析においても生産性の予測に有効ではなかった( $p>0.05$ )。これらのことから、生産性に対する傾斜の影響はバケットに比べて小さい可能性が示唆された。

一方、グラップル地拵えの生産性もバケットと同様、面積あたりの枝条量が多いほど低下する傾向があり、両者には強い負の相関関係が認められ( $R=0.862$ , 図-5)、生産性の予測に役立つと判定された(単回帰分析,  $p<0.05$ )。各試験地のグラップル地拵え地における枝条量を比較すると、霊仙寺は浅間の1.9~2.9倍、諏訪は浅間の1.0~2.9倍あった(表-4)。また、3試験地のグラップル地拵えの要素作業の時間を比較すると、バケットと同様、霊仙寺では「枝条等移動・棚積み(アーム・旋回)」が長かった(図-6)。これらのことから、枝条量が多い場合、その集積に要する時間が長くなり、生産性が低下すると考えられた。なお、平坦~緩傾斜地におけるグラップルローダまたはグラップル付バケットによる地拵えの所要人工は、1~2人日/haであったことが報告されている(佐々木ら 2013)。これは約830~1,670m<sup>2</sup>/人時の生産性に相当し、本研究の結果はそれより低かった。その際に処理した枝条の量は不明であるが、枝条量が生産性に影響している可能性が考えられる。

以上の結果から、グラップル地拵えの生産性に影響を与える因子は主に枝条量であり、傾斜との相関関係は弱いことが示唆されたが、今後サンプル数を増やして再検討する必要がある。なお、グラップルの生産性をバケットと比較すると、バケットの方がやや高い傾向がみられる(図-5)。しかし、枝条量が少なかった浅間ではグラップルの生産性がバケットをやや上回っており、枝条量が少ない場合はグラップルが優位となることも考えられた。

### 3.1.3 人力地拵え

人力地拵えの労働生産性は、最大値が霊仙寺の緩傾斜地で約170m<sup>2</sup>/人時、最小値が霊仙寺の中傾斜地で約100m<sup>2</sup>/人時であり、機械地拵えに比べて低かった(図-4)。類似した傾斜における試験地間の生産性の差は小さく、傾斜と生産性の間には相関関係は認められなかった( $R=0.080$ )。また、面積あたりの枝条量と生産性の間には負の相関関係が認められた(図-5,  $R=0.404$ )ものの、回帰直線の傾きは小さく、生産性はほぼ一定であった。

同一試験地の同一傾斜区分内で生産性を比較すると、人力地拵えの生産性に対して、バケットは浅間で4.9~10.9倍、霊仙寺で3.9~4.5倍の生産性を上げ、グラップルでは浅間で5.3~11.9倍、霊仙寺では2.4~2.5倍の生産性を上げている。

なお、人力地拵えにおける単位面積当たりの要素作業時間のうち、下刈り鎌等を用いた「枝条寄

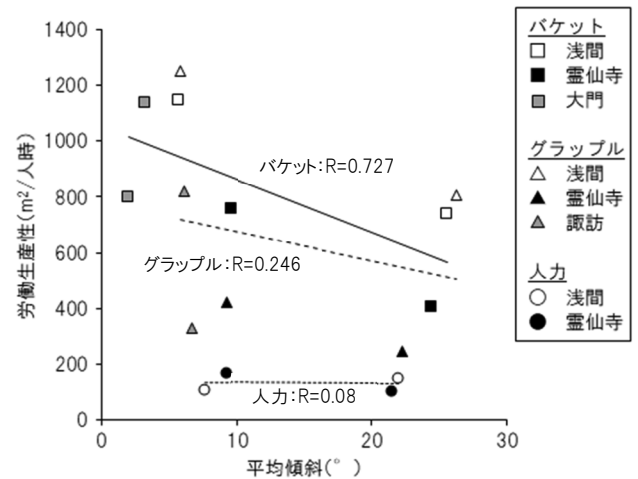


図-4 地拵えの労働生産性と傾斜の関係

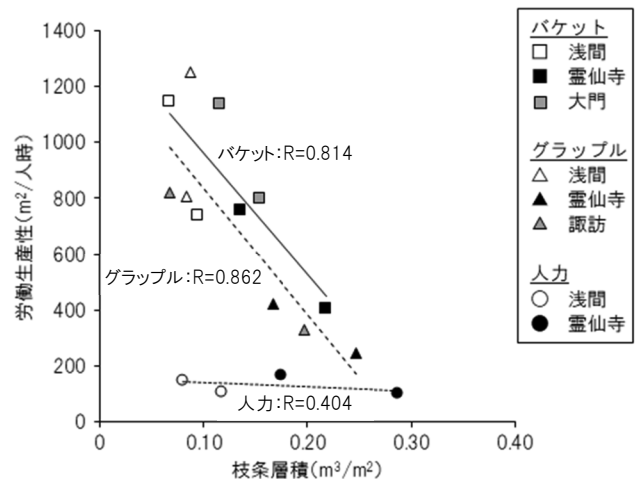


図-5 地拵えの労働生産性と単位面積当たりの枝条層積の関係

せ」と両腕による「棚積み」がいずれの試験区でも計86%以上を占めていた(図-6)。北海道におけるササの刈払い(渡辺 2017)に類する作業が生じなかったことは、林床植生の違いによるものと考えられた。また、地拵えの時期が、浅間では伐出作業直後の8月、霊仙寺では冬季の伐採から5ヵ月後の6月であり、植生が回復する前であったことも刈払いが生じなかった要因と考えられる。

以上の結果から、緩傾斜～中傾斜地における地拵えの生産性は、機械を使用することによって従来型の人力作業と比較して最大12倍程度向上することが確認できた。

### 3.2 地拵えのコスト

地拵えのコストと平均傾斜、及びコストと単位面積あたりの枝条量の関係を図-7、図-8に示した。地拵えコストはバケットが最も低く43～122千円/ha、次いでグラップルが57～291千円/ha、人力が最も高く198～322千円/haであった。

地拵えコストと傾斜の関係をみると、バケットでは緩傾斜より中傾斜の方がコストは高くなる傾向がみられ、傾斜とコストの間には強い正の相関関係が認められた( $R=0.716$ )。一方、グラップルでは弱い相関関係にすぎなかった( $R=0.327$ )。人力では傾斜とコストの間に相関関係は認められず( $R=0.040$ )、傾斜の影響は認められなかった。緩傾斜地においては機械地拵えのコストが人力を上回ることはなかったが、中傾斜地では試験地は異なるものの、グラップルのコストが人力を上回る場合もあった。これは、生産性の項で述べたように、傾斜による機械の作業姿勢に加えて、枝条量の影響を受けたことによるものと考えられた。なお、北海道では、平坦地( $10^\circ$ 以下)における機械地拵えの標準単価として178～236千円/ha(全刈り、手刈補正無、共通架設費7.5%含む)と定めている(北海道水産林務部 2017)。これは本研究の緩傾斜地におけるバケット及びグラップルの地拵えコストの値より高いが、丈の高いササを処理するための掛かり増し経費と考えられた。

一方、地拵えコストと枝条量の関係をみると、バケット及びグラップル地拵えのコストと枝条量の間には、生産性と同様、強い正の相関関係があり(図-8)、特にグラップルはバケットに比べて枝条量の増加がコストに大きく影響していた(バ

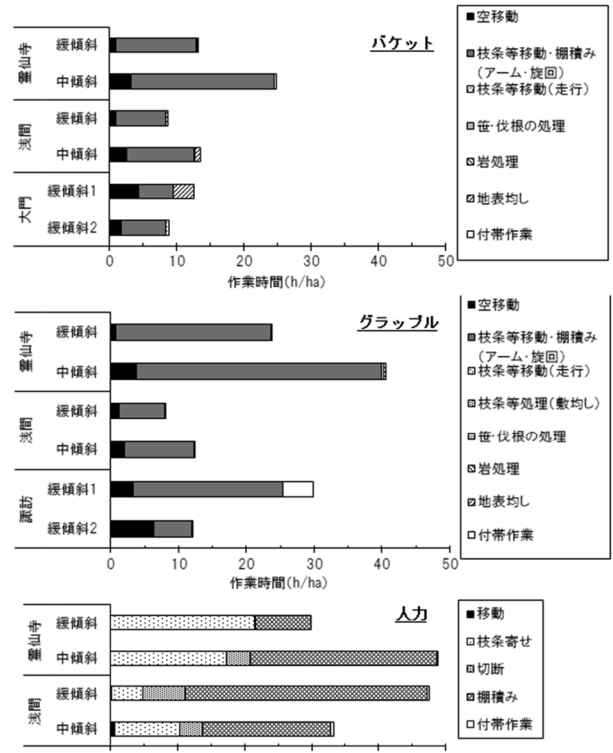


図-6 各地拵え方法における単位面積あたりの要素作業時間

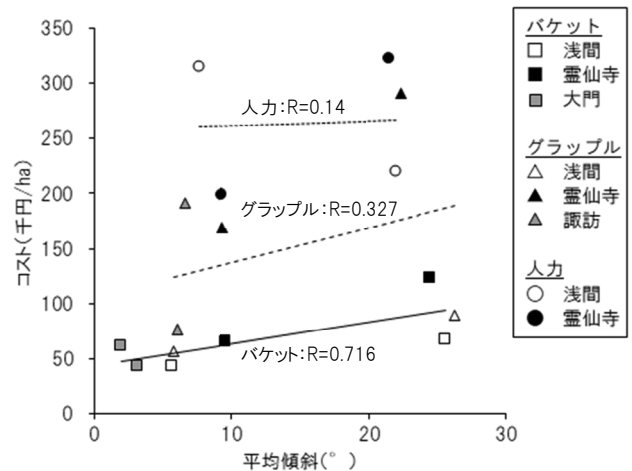


図-7 地拵えのコストと傾斜の関係

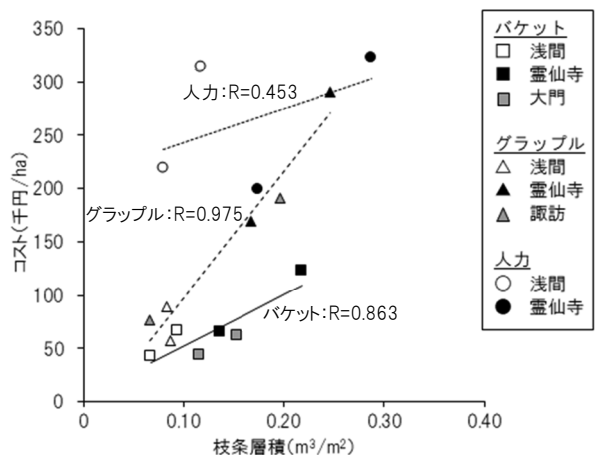


図-8 地拵えのコストと単位面積当たりの枝条層積の関係

ケット： $R=0.863$ ，グラップル： $R=0.975$ ）。グラップルはアタッチメントの価格がケットに比べて高く機械の評価値が高いため、枝条量が增加するほどコストの差が拡大した。

以上の結果から、地拵えコストはケット<グラップル<人力の順に高くなることが確認され、同一試験地・同一傾斜におけるコストは、ケットでは人力に比べて0.14~0.38倍、グラップルでは0.18~0.90倍となった。枝条量が少ない場合は両機械ともコスト削減効果が高い一方、枝条の量が多い場合は特にグラップルでは低コストになりにくいことが示され、機械地拵えのコストには枝条量が大きく影響していることが判明した。

### 3.3 機械地拵えの生産性の推定

これまでに述べたように、地拵えの生産性とコストには、機械の種類、枝条量、傾斜が影響を及ぼすことが明らかになった。したがって、機械ごとに現場の傾斜と枝条量等から生産性の推定式を導き出すことによって、コストも概算できる可能性がある。そこで、本研究で得られたデータをもとに、ケット、グラップルの両機械において、目的変数を労働生産性とし、説明変数を①単位面積当たりの枝条層積 ( $m^3/m^2$ )、②傾斜 ( $^\circ$ )、③棚積み方法 (縦・横)、④ベースマシンのケット容量 ( $m^3$ )、の4項目として、重回帰分析を行った。なお、説明変数は各試験地における作業条件の違いから想定しうる項目を極力多く取り入れた。重回帰分析には統計解析用 Excel アドインソフト

の Statcel 3 を使用し、変数選択-重回帰分析 (変数増加法) を行った。説明変数の選択基準は、 $F$  値が 2 以上の場合に有効とした。

その結果、ケットでは説明変数として①単位面積当たりの枝条層積 ( $F=12.2$ )、②傾斜 ( $F=7.9$ ) の 2 項目が選択され (重相関係数  $R=0.9524$ )、ケット地拵えの生産性  $P_B$  ( $m^2/人時$ ) の推定式として次式が得られた。

$$P_B = 1441.87 - 3447.40 V_s - 13.71 SI \quad (4)$$

ここで、 $V_s$ : 単位面積当たりの枝条層積 ( $m^3/m^2$ )、 $SI$ : 傾斜 ( $^\circ$ ) である。この重回帰式の有効性の検定を行った結果、予測に役立つと判定された ( $p=0.037$ )。この予測式を使用して各ケット地拵え試験区の層積と傾斜から生産性を算出した結果、工期調査結果との誤差は  $-12 \sim +11\%$  ( $-136 \sim +86 m^2/人時$ ) の範囲内であり、比較的正確な生産性が予測できると考えられた (図-9 左)。ただし、今回の解析ではサンプル数が少なかったことが影響し、③棚積み方法及び④ケット容量の各変数が選択されなかったことが考えられることから、今後データを蓄積した後に改めて推定式を求める必要がある。

次にグラップルでは、説明変数として選択されたのは①単位面積当たりの枝条層積 ( $F=11.6$ ) のみであり (重相関係数  $R=0.8620$ )、グラップル地拵えの生産性  $P_G$  ( $m^2/人時$ ) の推定式として次式

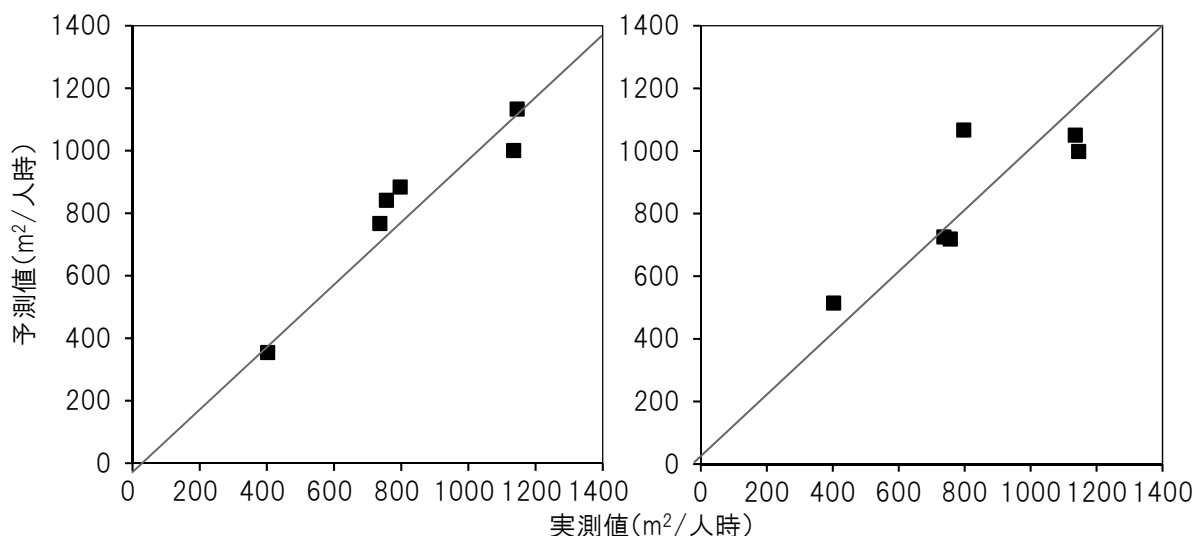


図-9 バケット地拵えの生産性実測値と生産性予測値の関係  
(左: 枝条層積実測値と傾斜実測値に基づく生産性予測値, 右: 枝条層積予測値と傾斜実測値に基づく生産性予測値)

が得られた。

$$P_G = 1285.31 - 4524.47 V_s \quad (5)$$

この重回帰式の有効性の検定を行った結果、予測に役立つと判定された ( $p=0.029$ )。この予測式を使用して各グラップル地拵え試験区の層積から生産性を算出した結果、工期調査結果との誤差は-50~+37% (-123~+124m<sup>2</sup>/人時) の範囲にあり、誤差範囲はバケットより大きかった (図-10左)。グラップルでは、選択された説明変数が枝条層積のみであり、傾斜やベースマシンのバケット容量など本来生産性に影響を及ぼすと想定される変数が組み込まれなかったため、今後はデータを蓄積して推定式の精度を高める必要があると考えられた。

ここまでに述べた生産性の予測は、伐採後に地拵え後の棚の測定によって明らかになる枝条層積の量をもとにしている。伐採前に地拵えの生産性を予測するためには、伐採前の林況から枝条量を推計することが必要になる。そのため、各地拵え現場で伐採前に行われた林分調査 (主林木以外の侵入した広葉樹及びアカマツも含む) による樹種ごとの単位面積当たりの幹材積と立木密度等のデータを基に、家原ら (2008) の方法を用いて、haあたりの林分材積  $V$  (m<sup>3</sup>/ha) とバイオマス拡大係数  $BEF$  (スギ 1.23, カラマツ 1.15, アカマツ 1.23, 広葉樹は樹種により 1.17 または 1.26)、利

用率  $R_v$  から、次式により樹種ごとの推定林地残材量  $V'$  (m<sup>3</sup>/ha) を算定した。

$$V' = V(1 - R_v) + (BEF - 1) \quad (6)$$

利用率  $R_v$  は、各試験地における伐採前の林分調査結果に基づき、樹種ごとの単木材積から森林保険の標準利用率 (森林保険センター2017) を適用した (0.65~0.88)。その結果、各試験地全体の利用率は、浅間:0.83, 霊仙寺:0.86, 大門:0.86, 諏訪:0.88 となった。

次に、 $V'$  (m<sup>3</sup>/ha) は丸太換算材積であるため、空隙を含んだ枝条層積に変換する必要がある。空隙率は、単位面積当たりの枝条層積実測値 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) と推定林地残材量 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) の差を枝条層積実測値 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) で除することによって求めた。その結果、各試験地の地拵え区における枝条層積の平均空隙率は 0.893 (標準偏差±0.033) であったため、推定枝条層積  $V_s'$  (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) は次式により推定される。

$$V_s' = V' / (10000 (1 - 0.893)) \quad (7)$$

これらの式から林分調査結果を基に単位面積当たりの枝条層積を予測し、さらに生産性を (4) 式及び (5) 式により予測したところ、予測値は工期調査による実測値に対して、バケットでは-13%~+34% (-148~+268m<sup>2</sup>/人時) に拡大したも

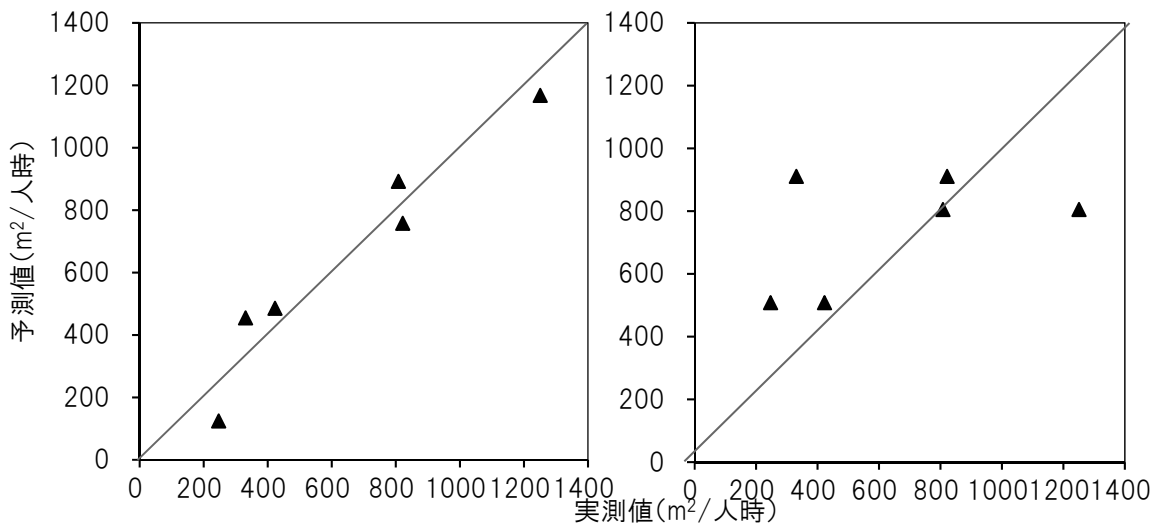


図-10 グラップル地拵えの生産性実測値と生産性予測値の関係  
(左: 枝条層積実測値に基づく生産性予測値, 右: 枝条層積予測値に基づく生産性予測値)



の、伐採前の林地残材予測によって生産性の予測が可能であることが示唆された（図-9 右）。一方、グラップルでは誤差範囲が $-33\% \sim +172\%$ （ $-446 \sim +579 \text{m}^2/\text{人時}$ ）となり、バケットに比べて誤差が大きく拡大し、予測精度に課題が残った（図-10 右）。

林分調査による枝条量の予測値は、林分平均の枝条量であるため、伐出作業により枝条の分布に偏りが生じる林地においては誤差が大きくなると考えられた。生産性の予測式の精度を向上させるためには、今後のデータ蓄積が必要である。また、枝条量を推計するためには林分調査の精度を高める必要があり、標準地の数や面積を増やすなどのほか、地上レーザースキャナ等により面的な資源量を把握するなど新しい手法の活用が期待される。

#### 4 まとめ

緩傾斜地～中傾斜地における機械地拵えを行う場合、処理する枝条の量、及び傾斜によって生産性とコストは変動することが明らかとなった。現在、長野県で機械地拵えに使用されている機械は、グラップルとバケットが拮抗しているが、本研究の結果からは、事前の林分調査により、林床植生が比較的多く、広葉樹等も含めた枝条が大量に発生すると想定される場合は、バケットを選択した方がコストは抑制されることが示された。

なお、機械地拵えの跡地では地表面の攪乱が少なからず発生する。特にバケットでは地表面を掃くように枝条を寄せる、または押すため、先駆種の草本類や木本類の種子を含んだ  $A_0$  層も枝条とともに集積されることから、更新面内の競合植生の発生が遅れる可能性がある。このことは、その後の下刈りの省力化にも寄与することが予想されるため、今後は機械地拵え施業地における下刈り回数削減も含めた再造林コストの低減を検討したい。

最後になりましたが、本研究の実施にあたっては、長野森林組合、(株)吉本、(有)金山林業、諏訪森林組合、今井木材、林野庁中部森林管理局、同東信森林管理署、同北信森林管理署、長野・佐久・諏訪地域の各地域振興局林務課の皆様にご多大なるご協力をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。なお、本研究の一部は生研支援セン

ターが実施する革新的技術開発・緊急展開事業（うち地域戦略プロジェクト）の「優良苗の安定供給と下刈り省力化のための一貫作業システム体系の開発」の助成を受けて行いました。

#### 引用文献

- 北海道水産林務部（2017）平成 29 年度造林事業標準単価。オンライン、  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/file.jsp?id=1017590> 2017. 8. 18.
- 家原敏郎・藤原健・松本光朗（2008）京都議定書に向けたバイオマス拡大係数、Root-Shoot 比及び容積密度の推定。日本森林学会大会発表データベース 119：462.
- 今富裕樹（2011）スギ再造林の低コスト化を目指した技術開発(1)－伐採・地拵え・植栽の一貫作業による低コスト化－。現代林業 542：52～55.
- 小山泰弘・山内仁人（2011）針広混交林造成に向けた更新技術の開発。長野県林総セ研報 25：29～44.
- 長野県林務部（2017）平成 29 年度林業土木事業設計単価表。275pp, 長野県, 長野.
- 長野県林務部森林保全課（2000）治山事業（森林整備）設計標準歩掛。40pp, 長野県, 長野.
- 中村松三（2012）再造林の低コスト化とコンテナ苗。森林技術 847：24～27.
- 日本森林技術協会（2010）路網と高性能林業機械を組み合わせた低コスト作業システム導入マニュアル。246pp, 日本森林技術協会, 東京.
- 岡勝（2014）低コスト化に向けた一貫作業システムの構築に向けて－伐出から地拵え、植栽まで－。山林 1566：35～44.
- 大矢信次郎・中澤昌彦・猪俣雄太・陣川雅樹・宮崎隆幸・高野毅・戸田堅一郎・柳澤賢一・西岡泰久（2018）緩傾斜地から中傾斜地における機械地拵え作業の生産性とコスト。森利誌 33(1)：15～24.
- 大矢信次郎・中澤昌彦・猪俣雄太・陣川雅樹・宮崎隆幸・高野毅・戸田堅一郎・柳澤賢一・西岡泰久（2019）再造林地で発生する枝条量の推定－機械地拵えの生産性予測のために－。第 130 回日本森林学会大会学術講演集：77.

- 大矢信次郎・西岡泰久・戸田堅一郎・宮崎隆幸・陣川雅樹・上村巧・中澤昌彦・猪俣雄太・倉本恵生 (2016) 緩～中傾斜地における機械地拵えの生産性と植生に与える影響. 第23回森林利用学会学術研究発表会講演要旨集: 6.
- 大矢信次郎・斎藤仁志・城田徹央・大塚大・宮崎隆幸・柳澤信行・小林直樹 (2016) 長野県の緩傾斜地における車両系伐出作業システムによる伐採・造林一貫作業の生産性. 日林誌 98: 233～240.
- 佐々木達也・中澤昌彦・岡勝・今富裕樹 (2013) 一貫作業システムとは? (低コスト再造林の実用化に向けた研究成果選集, 森林総研, 46pp, 森林総研, つくば) 6～7.
- 森林保険センター (2017) 森林保険の損害填補事務に関する規程. オンライン,  
(<https://www.ffpri.affrc.go.jp/fic/documents/5-1songaitenpo.pdf>) 2017. 11. 21.
- 森林総合研究所北海道支所 (2016) 緩中傾斜地を対象とした伐採造林一貫作業システムの手引き. 20pp, 森林総研北海道支所, 札幌.
- 林野庁 (2017a) 平成28年度森林・林業白書. オンライン,  
(<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/28hakusyo/zenbun.html>) 2017. 8. 19.
- 林野庁 (2017b) 森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. オンライン,  
([http://www.rinya.maff.go.jp/j/ken\\_sido/forester/](http://www.rinya.maff.go.jp/j/ken_sido/forester/)) 2017. 8. 19.
- 渡辺一郎 (2017) 北海道における育林作業機械化の現状と課題. 森林科学 80: 6～9.
- 全国林業改良普及協会 (2001) 機械化のマネジメント. 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京.