

那須町森林組合における皆伐作業の生産性・コスト分析

水庭諄子・有賀一広・仲畑力(宇大農)

要旨：本研究では、那須町森林組合で行われた皆伐作業の時間観測調査を行い、既往の間伐調査地（①、②：従来型作業地、③、④：機械化作業地）との生産性およびコストの比較を行った。今回の調査地の伐採木平均幹材積は $0.89 \text{ m}^3/\text{本}$ であり、比較的、伐採木平均幹材積が大きい調査地④の $0.55 \text{ m}^3/\text{本}$ と比べて 1.6 倍であるが、生産性は 2.9 倍であり、林分条件、作業条件を考慮してもなお、非常に高い結果が得られた。また、従来通り共販所へ搬出すると仮定した場合のコストは $4,499 \text{ 円}/\text{m}^3$ 、製材所まで直送し、土場渡しを行う場合のコストは $3,238 \text{ 円}/\text{m}^3$ と試算され、直送を行い運搬費や市場手数料および桧積み料が計上されないことで、 $1,262 \text{ 円}/\text{m}^3$ のコストの削減が見込まれる結果となった。

キーワード：皆伐作業、生産性、コスト、間伐作業、直送

Abstract: In this study, we investigated a clear cutting operation conducted by Nasu Forestry Owner's Co-operative, and compared its productivity and cost with those of thinning operations (system 1, 2: ordinary system & system 3, 4: mechanized system). The average stem volume in this study of 0.89 m^3 was 1.6 times higher than the 0.55 m^3 average stem volume in system 4. The productivity in this study of $2.58 \text{ m}^3/\text{hour}$ was 2.9 times higher than the $0.88 \text{ m}^3/\text{hour}$ in system 4. Therefore, the productivity in clear cutting operation could be significantly higher than that of thinning operations even considering stand and operational conditions. This cost of clear cutting operations including transportation to a log market was estimated as $4,499 \text{ yen}/\text{m}^3$. On the other hand, the cost of clear cutting operation including direct transportation to sawmill was estimated as $3,238 \text{ yen}/\text{m}^3$. Direct transportation would reduce the cost by $1,262 \text{ yen}/\text{m}^3$ because of no transportation expenses as well as no handling and piling fees of a log market.

Keywords: Clear cutting operation, Productivity, Cost, Thinning operation, Direct transportation

I はじめに

那須野ヶ原地域における作業システムの現状を把握し、林地残材の利用可能性を検証するため、これまでに那須塩原市森林組合の従来型作業と那須町森林組合の機械化作業の利用間伐が調査された(3,4)。

一方、安定した木材および森林バイオマスの供給には、資源循環利用が求められる。しかし、現在、全国的に森林を構成する齢級には偏りが生じており、栃木県においては、保育の必要のあるⅠ～Ⅲ齢級が 3.3%、間伐適期であるⅦ～Ⅹ齢級が 54.5%、Ⅺ齢級以上が 29.9%を占めている。長期持続的に資源を供給するためには、現在少なくなっている若齢級の森林を造る必要がある。那須野ヶ原地域の那須町森林組合では、同地域での大径材の需要も少ないことから、皆伐後の再造林費用を確保し、持続的な資源循環を促進させることを目的とし、製材所が搬出材積あたり $1,000 \text{ 円}/\text{m}^3$ を上乗せして材を購入し、上乗せ分を補助金で補えない下刈り費用に充てる森林所有者、森林組合、製材所で

結ぶ3者協定や、直送により不要となる運搬費や県森連の市場手数料および桧積み料から $1,000 \text{ 円}/\text{m}^3$ を同じく下刈り費用に充てる協定を森林組合と森林所有者で結ぶ2者協定の取り組みが行われている(6)。

今回、那須町森林組合において皆伐作業の調査を行い、サイクルタイム、生産性、コストを分析し、間伐作業との比較検討を行うとともに、2者および3者協定を加味した場合の経済収支についても検討を行った。

II 調査地概要

1. 調査地 栃木県那須郡那須町の皆伐作業地である民有林 39 林班ア 15 小班(以下、調査地)とした。調査地は林齢 58 年のスギ林分であり、作業面積 0.77ha 、立木密度 $800 \text{ 本}/\text{ha}$ 、平均林地傾斜 27.9° 、平均路網密度 $181.2\text{m}/\text{ha}$ 、平均胸高直径 33cm 、平均樹高 24.9m 、平均幹材積 $1.00 \text{ m}^3/\text{本}$ である。

作業はチェーンソー(Husqvarna 製 550XP G)による

Yoshiko Mizuniwa, Kazuhiro Aruga, Chikara Nakahata (Fac. of Agric, Utsunomiya Univ, 350 Mine Utsunomiya 321-8505) An analysis on the productivity and cost for clear cutting in Nasu Forestry Owner's Co-operative

伐倒、グラップルローダ（ベースマシン：日立建機製 ZAXIS 135US、グラップルヘッド：イワフジ製 GS-90LJV）による木寄せ、プロセッサ（ベースマシン：日立建機製 ZAXIS 135US、プロセッサヘッド：イワフジ製 GP-35A）による造材、フォワーダ（イワフジ製 U-4SBG）による搬出であり、作業道作設に関しては、同団地内の間伐地にてグラップル付バケット（ベースマシン：日立建機製 ZAXIS 135US、ヘッド：松本システムエンジニアリング製 MSE-45ZR）により行われた作業を観測した。

2. 調査方法 作業の生産性およびコストを把握するためにビデオカメラを用いて各作業の時間観測を行うとともに、造材歩留まり、積載量、搬出距離等の作業条件をそれぞれ計測した。

III 調査結果

1. 各作業の生産性 チェーンソー伐倒は伐採木 1 本あたりの平均サイクルタイム CT_C 4分56秒、平均素材材積 $0.82 \text{ m}^3/\text{本}$ より、生産性は $10.13 \text{ m}^3/\text{人時}$ である。

グラップル木寄せは伐採木 1 本あたりの平均サイクルタイム CT_G 3分53秒、平均素材材積 $0.73 \text{ m}^3/\text{本}$ より、生産性は $11.47 \text{ m}^3/\text{人時}$ である。調査地は作業道に面しており、木寄せ作業はウインチを使用せず、グラップルのアームが届く範囲（平均樹高 24.9m と機体から 8.2m を合わせた 33.1m 以内）で行われた。

プロセッサ造材は伐採木 1 本あたりの平均サイクルタイム CT_P 3分19秒、平均丸太材積 $0.13 \text{ m}^3/\text{玉}$ 、平均玉数 6.79 玉/本より、生産性は $14.20 \text{ m}^3/\text{人時}$ である。造材割合は、一般材 42.7%、杭材 3.7%、ラミナ材 27.6%、パルプ材 17.1%、残材 9.0%である。

フォワーダ搬出は平均搬出距離 743.73m であり、平均サイクルタイム 35分27秒/回、平均積載量 $4.84 \text{ m}^3/\text{回}$ より、生産性は $7.84 \text{ m}^3/\text{人時}$ である。調査地では直送を行うため、フォワーダの作業員が搬出した一般材、杭材、ラミナ材の末口径の計測を行っていた。搬出 1 回あたりのサイクルタイム CT_{Fa} (2,127 秒/回)、フォワーダの平均積載量 Vl ($4.84 \text{ m}^3/\text{回}$)、伐採木平均幹材積 Vn ($0.89 \text{ m}^3/\text{本}$)、造材歩留まり y (0.90) を用いて、次式により伐採木 1 本あたりのフォワーダ搬出時間 CT_F (秒/本) が求められる。

$$CT_F = \frac{CT_{Fa} y Vn}{Vl} = 355 \text{ 秒/本} \quad (1)$$

グラップル付バケットによる作業道作設は、観測時間 1 時間 34分28秒 (5,668 秒) に対して、観測時間内の作設距離は 29m であることから m あたりの生産性 P_{Za} は $18.42 \text{ m}/\text{人時}$ である。 m^3 あたりの生産性 P_Z ($\text{m}^3/\text{人時}$)は、

調査地の作業道作設距離 L_m (139.64m)、 m あたりの生産性 P_{Za} ($18.42 \text{ m}/\text{人時}$)、調査地の伐採材積 S ($711.18 \text{ m}^3/\text{ha}$)、造材歩留まり y (0.90)、作業範囲 A (0.77 ha) より次式で求められる。

$$P_Z = \frac{SyAP_{Za}}{L_m} = 65.54 \text{ m}^3/\text{人時} \quad (2)$$

また、伐採木 1 本あたりの作業道作設時間 CT_Z (秒/本) は、伐採木平均幹材積 Vn ($0.89 \text{ m}^3/\text{本}$)、造材歩留まり y (0.90)、 m^3 あたりの生産性 P_Z ($65.54 \text{ m}^3/\text{人時}$) を用いて、次式により求められる。

$$CT_Z = \frac{3,600yVn}{P_Z} = 45 \text{ 秒/本} \quad (3)$$

以上より、作業システム全体のサイクルタイム CT_{ALL} (秒/本) が次式より算出できる。

$$CT_{ALL} = CT_C + CT_G + CT_P + CT_F + CT_Z = 1,125 \text{ 秒/本} \quad (4)$$

また、求められたサイクルタイムから作業システム全体の生産性 P_{ALL} ($\text{m}^3/\text{人時}$) を以下の式で算出する。

$$P_{ALL} = \frac{3,600yVn}{CT_{ALL}} = 2.55 \text{ m}^3/\text{人時} \quad (5)$$

1 日の実働時間 tw (6 時間) を用いて、1 日 1 人あたりの作業システム全体の生産性 P ($\text{m}^3/\text{人日}$) を、以下の式より算出する。

$$P = tw \times P_{ALL} = 15.33 \text{ m}^3/\text{人日} \quad (6)$$

2. サイクルタイム、生産性推定式 フォワーダの搬出距離 L (m) を変数とし、サイクルタイムおよび生産性の推定式を算出する。フォワーダのサイクルタイム CT_F (秒/本) の推定式は、空走行速度 v_1 (1.61 m/s)、実走行速度 v_2 (1.81 m/s)、走行時間を除いたサイクルタイムの合計 α ($1,261$ 秒/回)、1 回の搬出あたりの幹本数 k (5.52 本/回) を用いて、以下の式で表される。

$$CT_F = \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) \frac{L}{k} + \frac{\alpha}{k} = 0.196L + 210 \text{ 秒/本} \quad (7)$$

一方、生産性 P_F ($\text{m}^3/\text{人時}$) の推定式は (5) 式より、以下の式で表される。

$$P_F = \frac{3,600yVn}{CT_F} = \frac{2,874}{0.196L+210} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (8)$$

次に、作業システム全体のサイクルタイム CT_{ALL} (秒/本) を (4) 式と (7) 式より、以下の式を用いて算出する。

$$CT_{ALL} = 0.196L + 987 \text{ 秒/本} \quad (9)$$

一方、(5) 式と (9) 式より生産性 P_{ALL} ($\text{m}^3/\text{人時}$) は以下の式で表される。

$$P_{ALL} = \frac{2,874}{0.196L+987} \text{ m}^3/\text{人時} \quad (10)$$

また、(6) 式より、作業システム全体の1日1人あたりの生産性 P (m^3 /人日) は、以下の式で求められる。

$$P = \frac{17.244}{0.196L+987} m^3/\text{人日} \quad (11)$$

3. 間伐作業地との比較 那須野ヶ原地域内の那須塩原市森林組合および那須町森林組合の間伐地(3,4)と比較した結果を表-1に、フォワーダの搬出距離を変数とした作業システム全体の生産性 (m^3 /人日) を図-1に示す。調査地①、②が那須塩原市森林組合による従来型作業地、調査地③、④が那須町森林組合による機械化作業地である。従来型作業地の作業システムはチェーンソーによる伐倒造材、ミニグラップルローダによる短幹集積および林内作業車への積み込み、林内作業車による搬出であり、機械化作業地の作業システムは本調査地と同じである。なお、那須塩原市森林組合の作業では伐倒作業と造材作業を分けることが困難であったため、本調査地の結果もチェーンソーとプロセッサを合わせて伐倒造材作業の生産性とした。

今回の調査地の伐採木平均幹材積は $0.89 m^3$ /本であり、比較的、伐採木平均幹材積が大きい調査地④の $0.55 m^3$ /本と比べて1.6倍であったが、生産性は2.9倍であり、林分条件、作業条件を考慮してもなお、非常に高い結果が得られた。特に、かかり木がなく、作業スペースも広く取れるため、伐倒造材作業の生産性は高い。その結果、試算した搬出距離の範囲では、常に本調査地の生産性が最も高かった。

表-1. 間伐作業(4)との生産性の比較(m^3 /人時)

Table.1 Productivity of thinning and clear cutting

調査地	①	②	③	④	本調査地
選木	10.18	7.70	-	-	-
作業道 作設	-	-	5.19	13.42	64.54
伐倒造材	0.83	0.37	1.35	1.56	5.91
集積	8.64	1.81	5.19	4.36	11.47
搬出	6.48	-	4.86	5.29	7.84
合計	0.64	0.30	0.75	0.88	2.55
(m^3 /人日)	3.83	1.78	4.50	5.29	15.33

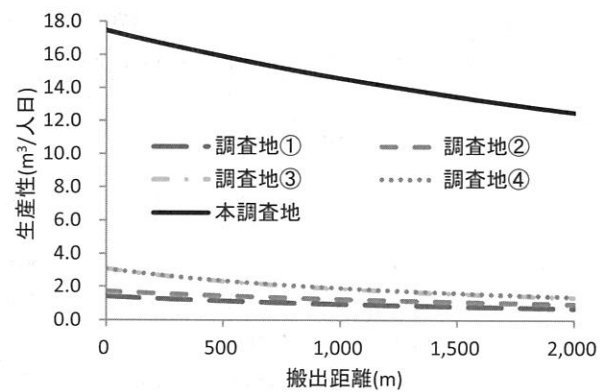


図-1. 搬出距離と生産性

Fig.1 Forwarding distance and productivity

4. コスト分析 本研究では機械経費は那須町森林組合への聞き取りおよび日本森林技術協会(5)を参考に、減価償却費、保守修理費、管理費、燃料・油脂費を考慮し、グラップル付バケット5,096円/台時、チェーンソー210円/台時、グラップル4,645円/台時、プロセッサ6,728円/台時、フォワーダ3,789円/台時とした。労務経費については仲畑ら(2)より、2,550円/人時を使用した。求められた生産性より、以下の(12)式を用いて主作業費を試算し、グラップル付バケット118円/ m^3 、チェーンソー270円/ m^3 、グラップル640円/ m^3 、プロセッサ539円/ m^3 を得た(表-2)。

$$OE = \frac{C_L N + C_M N_M}{P} \quad (12)$$

OE : 主作業費 (円/ m^3)、 C_L : 労務経費 (円/人時)、 N : 作業人数 (人)、 C_M : 機械経費 (円/台時)、 N_M : 機械台数 (台)

また、(12)式に、労務経費 C_L 2,550円/人時、フォワーダの作業人数 N 1人、フォワーダの機械経費 C_{MF} 3,789円/台時、機械台数 N_{MF} 1台、(8)式を代入することにより、フォワーダの主作業費を求める次式が得られる。

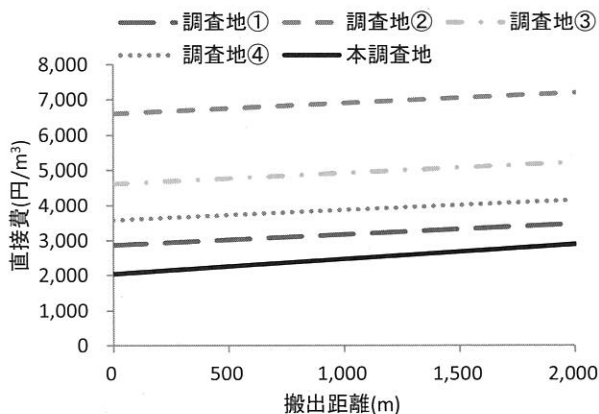
$$OE_F = 0.433L + 464 \text{ 円}/m^3 \quad (13)$$

以上より、本調査地の作業システム全体の主作業費は以下の式で表され、各調査地については表-2、図-2で表される。

$$OE = 0.433L + 2,031 \text{ 円}/m^3 \quad (14)$$

表一2. 間伐作業(4)との主作業費の比較(円/m³)

調査地	①	②	③	④	本調査地
選木	128	169	-	-	-
作業道 作設	-	-	1,145	443	118
伐倒造材	2,063	4,614	2,003	1,447	808
集積	301	1,436	1,095	1,303	640
搬出	734	-	993	913	786
合計	3,226	6,219	5,236	4,106	2,352



図一2. 搬出距離とコスト

Fig.2 Forwarding distance and costs

生産性と同様に、今回の皆伐の主作業費が優位な結果となり、間伐作業と比較してコストの低減が示された。また、推定した木材売上額 (I) より、運搬費 1,300 円/m³、極積み料 700 円/m³、組合手数料を木材売上額の 5%、共販所手数料を一般材と杭材の売上合計額の 5%と仮定し試算を行い、従来通り共販所へ運搬した場合、支出は 4,499 円/m³、直送を行い全ての材を土場渡しと仮定した場合、支出は 3,238 円/m³となり、運搬費や県森連の市場手数料および極積み料が計上されないことで 1,262 円/m³のコストの削減が見込まれる。したがって、直送を進めることにより、2者および3者協定で下刈り費用に充てられる 1,000 円/m³以上のコスト削減を達成することが示された。

IV おわりに

今回の那須町森林組合への作業調査・分析より、皆伐により生産性が向上し、間伐と比較して生産コストが低減することが示された。また、2者および3者協定により皆伐後の下刈り費用も担保され、資源の循環利用につながることも示された。

今回は1作業地の簡単な試算であるため、今後さらに他

の作業地についても調査を行うとともに、搬出距離だけではなく調査地ごとの材積の違いといった作業条件も考慮することが今後の課題である。

また、実際に2者および3者協定により皆伐後の下刈り費用が担保されるのか、皆伐により生産量が増加し、一時的には森林所有者への還元額も増加するが、将来的な森林所有者への還元額については不明であるため、これらの点について継続して調査を行う必要がある。

引用文献

- (1) 那須町森林組合 (2012) 事業費精算に係わる基礎資料 (非公開)
- (2) 仲畑力ら (2013) 那須野ヶ原地域の間伐材搬出作業における最適搬出率の検討. 森林学誌 : 28, pp.17-28
- (3) 仲畑力ら (2010) 那須野ヶ原地域における間伐材搬出作業の機械化による生産性・コスト改善の可能性一現状の作業分析から一. 宇大演報 : 46, pp.19-26
- (4) 仲畑力ら (2011) 那須野ヶ原地域における間伐材搬出作業の機械化による生産性・コスト改善の可能性 (II) 一従来型作業と機械化作業の比較分析から一. 宇大演報 : 47, pp.27-34
- (5) 日本森林技術協会 (2010) 低コスト作業システム構築事業報告書. 日本森林技術者協会, 東京, 268pp.
- (6) 矢野幸一 (2013) 栃木県県北地域の林業再生に向けた取り組みについて. 森林学誌 : 28, pp.59-65