

## 速報

## 小面積の間伐に適した集材作業システムの検討\*1

—ウィンチ付きバックホウ集材の作業条件の違いによる生産性の比較—

満留良文\*2

満留良文：小面積の間伐に適した集材作業システムの検討 九州森林研究 59：117—120, 2006 小面積の利用間伐に適した集材作業システムを検討するため、小型多機能機械の単胴ウィンチ付きバックホウ集材の間伐方法や集材作業条件の異なる間伐調査区で、集材功程調査を行い、作業条件と集材生産性、労働生産性を比較した。生産性の高い方から列状全幹>定性全幹>列状短幹集材の順となった。間伐方法では列状間伐における生産性は30.91m<sup>3</sup>/日で、定性間伐の生産性26.18m<sup>3</sup>/日よりも2割上回り、列状間伐集材の優位性が確認できた。集材距離を変数として生産性の分析を行った結果、集材方向では、上荷の生産性が下荷よりも列状間伐で25%、定性間伐で15%高かった。また、列状間伐における集材形態の違いによる生産性は、全幹集材が短幹集材よりも34%高かった。全幹集材での上荷集材であれば列状、定性間伐とも生産性は高く、路網との組み合わせにより、小面積の間伐に適する集材作業システムであることが示唆された。

キーワード：ウィンチ付きバックホウ、列状間伐、定性間伐、集材作業システム、生産性

## I. はじめに

木材価格が低迷し、林業従事者も減少する中、森林の持続的な利用を図る利用間伐を進めるためには、間伐作業の効率化、労働安全の確保、労働環境の改善のための機械化が必要であるが、鹿児島県の1戸当たりの所有森林面積は2.47ha (I)と小規模で間伐実施単位も小面積であるため、従来型の林内作業車による集材方法が主流となっている。近年、間伐材集材の低コスト化を図る新たなシステムとして、小型のバックホウに単胴ウィンチを搭載し、グラップルを装備したウィンチ付きバックホウ（以下バックホウと記す）が導入されつつあり、操作も比較的簡単に集材路開設や材の積込みもできる多機能機械である。しかし、バックホウでの集材方法はまだ確立されておらず、地形条件や事業規模に適した作業方法を確立する必要がある。

そこで、バックホウによる間伐材集材作業システムを検討するため、間伐方法（定性・列状）、集材方向（上荷・下荷）、集材形態（全幹・短幹）等作業条件の異なる間伐現場で集材作業功程調査を行い作業条件と集材生産性、労働生産性を算出し、比較考察を行ったので報告する。

## II. 調査方法

調査地の概要を表-1に示す。定性全幹集材調査区は、川辺町のスギ43年生、間伐率37%の定性間伐地で、2m幅の集材路を開設し、伐倒、枝払いが終了した状態で、集材路上から単胴ウィンチ（N社2t引ウィンチ搭載0.2m<sup>3</sup>タイプバックホウ）を使用し、人力でワイヤを引出して、スリングロープで荷掛けし、地曳きによる全幹集材を調査した。

による全幹集材を調査した。

列状全幹集材調査区は、知覧町のスギ38年生3残1伐の列状間伐と列間の点状間伐地で伐倒、枝払いが終了した状態で、既設作業路上からウィンチを使用し、人力でワイヤを引出して、スリングロープで荷掛けし、地曳きによる全幹集材を調査した。

列状短幹集材調査区は、大口市ヒノキ38年生3残1伐の列状間伐と列間の点状間伐地で、伐倒、枝払い、造材が終了した状態で、集材路上からウィンチを使用し、ワイヤを引出して、スリングロープを短幹材に荷掛けし、地曳きによる短幹集材を調査した。集材作業人員は、いずれの調査区も、オペレーター1人、荷掛け手兼荷外し手2人の計3人で行われた。

作業条件等については、1サイクル毎に短幹材は末口径と材長、全幹材は、胸高直径、樹高を計測し、集材距離は荷掛けの位置をレーザー距離計で計測した。また、時間調査はビデオカメラで作業を連続撮影し、後日、要素作業毎にストップウォッチで計測した。

## III. 結果及び考察

調査結果の概要は表-1、図-1に示す。

## 1. 間伐方式別生産性及び労働生産性

## (1) 定性間伐（全幹集材）

18.32m<sup>3</sup>の素材搬出に48サイクル集材が実施され、4時間11分を要した。1日の作業時間を6時間とした場合の生産性は、26.18m<sup>3</sup>/日、労働生産性は、3人作業で行われたため、8.73m<sup>3</sup>/人日であった。

## (2) 列状間伐（全幹集材）

\*1 Mitsudome, Y., : Examination of thinning logging systems in the small-scale forest stands.

- Productivity comparison in backhoe which equipped the winch function yarding under various conditions at working sites. -

\*2 鹿児島県林業試験場 Kagoshima Pref. Forest Exp. Stn., Kamo, Kagoshima 899-5302

28.50m<sup>3</sup>の素材搬出に92サイクル集材が実施され、5時間31分を要した。生産性は、30.91m<sup>3</sup>/日、労働生産性は、10.3m<sup>3</sup>/人日と良好な結果となった。

(3) 列状間伐 (短幹集材)

6.54m<sup>3</sup>の素材搬出に19サイクル集材が実施され、1時間49分を要した。生産性は、21.54m<sup>3</sup>/日、労働生産性は、7.18m<sup>3</sup>/人日という結果となった。

3つの調査区の生産性を比較すると、高い方から列状全幹>定性全幹>列状短幹集材の順となった。

表-1. 調査地と調査結果の概要

項目	定性全幹調査区		列状全幹調査区	
	川辺町本別府地内	知覧町永里地内	大口市小川内地内	知覧町永里地内
場所	川辺町本別府地内	知覧町永里地内	大口市小川内地内	知覧町永里地内
間伐方法	定性	列状 (列間点状)	列状 (列間点状)	列状 (列間点状)
集材方法	上荷集材	上荷集材	上荷集材	上荷集材
樹種	スギ	スギ	ヒノキ	ヒノキ
林齢 (年生)	43	38	38	38
面積 (ha)	0.74	0.75	0.30	0.10
平均胸高直径 (cm)	25.7	22.8	19.9	19.9
平均樹高 (m)	15	15.2	12.3	12.3
平均単木材積 (m <sup>3</sup> )	0.454	0.313	0.2	0.2
間伐前成立本数 (本/ha)	1,475	1,400	1,300	1,300
間伐率 (%)	37	35	33	33
傾斜 (度)	17	24	3.6	2.3
平均集材距離 (m)	20.6	21.38	27.3	20.3
平均木寄距離 (m)	- (注)	- (注)	- (注)	- (注)
調査時間	4時間11分	5時間31分	1時間49分	35分
サイクル数	48	92	19	7
平均集材時間	4分25秒	3分36秒	5分45秒	5分4秒
平均荷掛け材積 (m <sup>3</sup> )	0.32	0.31	0.34	0.43
平均荷掛け本数 (本)	1	1	4.7	2.3
集材材積 (m <sup>3</sup> )	18.32	28.5	6.54	3.1
生産性 (m <sup>3</sup> /時)	4.36	5.15	3.59	5.20
生産性 (m <sup>3</sup> /日)	26.18	30.91	21.54	31.2
作業員数 (人)	3	3	3	3
労働生産性 (m <sup>3</sup> /人時)	1.45	1.72	1.20	1.73
労働生産性 (m <sup>3</sup> /人日)	8.73	10.30	7.18	10.40

(注) 道端集材のため木寄せ距離=集材距離とした。

2. 集材方向別生産性及び労働生産性

表-2, 図-2 に集材方向別生産性及び労働生産性を示した。

(1) 定性全幹集材

上荷集材の1サイクル平均集材時間は3分37秒で下荷集材の5分5秒より短かった。これは、上荷集材は荷掛け手がワイヤを斜面の下方向に引出すため、引出し速度が下荷集材の約1.2倍と速いが、下荷集材では斜面上方にワイヤを引出すため荷掛け手の作業負担が増し、遅くなったためである。上荷集材の生産性は、27.98m<sup>3</sup>/日、労働生産性は、9.38m<sup>3</sup>/人日で下荷集材より3割高かった。

(2) 列状全幹集材

列状間伐においても上荷集材の1サイクル平均集材時間は3分33秒で下荷集材の4分20秒より短かった。これは、上荷集材は荷掛け手が、ワイヤを斜面の下方向に伐採列に沿ってワイヤを引出すため、引出し速度が下荷集材の1.5倍と速く、下荷集材では斜面上方向に向かってワイヤを引出すため荷掛け手の作業負担が大きくなったためである。上荷集材の生産性は、31.35m<sup>3</sup>/日、労働生産性は、10.45m<sup>3</sup>/人日で下荷集材より2割高かった。

3. 集材形態別生産性及び労働生産性

表-1, 図-3 に集材形態別生産性及び労働生産性を示した。

集材の素材形状の違い、短幹と全幹による生産性、労働生産性

表-2. 集材方向別集材生産性

項目	定性全幹調査区		列状全幹調査区	
	川辺町本別府地内	知覧町永里地内	川辺町本別府地内	知覧町永里地内
場所	川辺町本別府地内	知覧町永里地内	川辺町本別府地内	知覧町永里地内
間伐方法	定性	定性	定性	定性
集材方向	上荷集材	下荷集材	上荷集材	下荷集材
傾斜 (度)	17	19	24	20
平均集材距離 (m)	16.6	22.6	21.46	20.2
平均集材時間 (分/回)	3分37秒	5分5秒	3分33秒	4分20秒
平均荷掛け材積 (m <sup>3</sup> )	0.28	0.31	0.31	0.31
平均荷掛け本数 (本)	1	1	1	1
生産性 (m <sup>3</sup> /時)	4.66	3.61	5.23	4.29
生産性 (m <sup>3</sup> /日)	27.98	21.67	31.35	25.76
作業員数 (人)	3	3	3	3
労働生産性 (m <sup>3</sup> /人時)	1.55	1.20	1.74	1.43
労働生産性 (m <sup>3</sup> /人日)	9.33	7.22	10.45	8.59
ワイヤ引出速度 (m/分)	38	32	36	24
材引き寄せ速度 (m/分)	18	16	18	18

を比較するために、列状短幹調査区内の一部において、全幹集材の作業工程調査を実施した。

なお、調査を同日に行ったので、作業者も同じで、林分作業条件もほぼ同じ条件で調査した。

調査結果を比較すると、生産性、労働生産性とも、全幹集材は短幹集材の約1.4倍の効率となった。これは、全幹集材では1サイクルに全幹材で2~3本ずつの集材が可能で、荷掛け時間が短縮でき、1サイクルの集材材積も多いためである。

4. 作業条件別集材作業の要素作業別時間構成

(1) 定性全幹集材

要素作業別時間割合は、材引き寄せ (26%)、ワイヤ引出し (14%)、機械移動 (9%)、トラブル (9%)、荷下ろし (6%)、荷掛け (6%)、立木回避 (4%) の順番であった (図-4)。

機械移動とは、定性間伐のためワイヤを通すラインの位置決めのために機械を移動する必要があったためで、材引き寄せも立木の間を通るので速度も遅くなっていた。また、切り株に引っかかるトラブルも多く発生し、特に下荷集材では材が滑ってしまい立木回避にも時間がかかっていた。

(2) 列状全幹集材

要素作業別時間割合は、材引き寄せ (34%)、材整理 (23%)、ワイヤ引出し (17%)、荷掛け (10%)、荷下ろし (6%)、機械移動 (3%) の順番であった (図-5)。

列状間伐では、伐採列を集材するため、根株等への引っかかり等トラブルは、ほとんどみられずスムーズな集材が行え、サイクルタイムも短縮でき生産性も高く、列状間伐の優位性が確認できた。

(3) 列状短幹集材

要素作業別時間割合は、荷下ろし (23%)、材引き寄せ (22%)、荷掛け (19%)、ワイヤ引出し (14%)、立木回避 (7%)、材整理 (7%)、機械移動 (3%) の順番であった (図-6)。荷下ろし、荷掛け作業の比率が高かったのは、スリングロープを木寄せする材に1本づつかけてから、人力で引出したワイヤを通していったためであり、集材されると材が重なりスリングロープの荷はずしに時間がかかっていたためである。一度に短幹材を約5本ずつ集材していたため、集材途中の荷掛け直しや立木回避にも時間がかかっていた。

## 5. 生産性の推定と比較

ウィンチ付きバックホウによる1サイクルの集材時間 ( $T_1$ ) を〔1〕式により、集材作業条件ごとに求めた。 $T_1 = L_1(1/V_1 + 1/V_2) + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 \cdots \cdots$ 〔1〕

ここで  $L_1$ : 集材距離 (m),  $V_1$ : ワイヤ引出し速度,  $V_2$ : 木寄せ速度,  $t_1$ : 荷掛け時間,  $t_2$ : 荷掛け直し時間,  $t_3$ : 立木回避時間,  $t_4$ : 荷下ろし時間,  $t_5$ : 桤整理時間,  $t_6$ : 集材ロス時間 (機械移動, 造材待ち, 準備, 検討)

- (1) 定性全幹調査区 (上荷集材) 傾斜17°  
 $= 4.948L_1 + 134.61 \cdots \cdots$ 〔2〕
- (2) 定性全幹調査区 (下荷集材) 傾斜19°  
 $= 5.578L_1 + 178.60 \cdots \cdots$ 〔3〕
- (3) 列状全幹調査区 (上荷集材) 傾斜24°  
 $= 5.019L_1 + 105.66 \cdots \cdots$ 〔4〕
- (4) 列状全幹調査区 (下荷集材) 傾斜20°  
 $= 5.797L_1 + 142.66 \cdots \cdots$ 〔5〕
- (5) 列状短幹調査区 (上荷集材) 傾斜3.6°  
 $= 4.477L_1 + 222.62 \cdots \cdots$ 〔6〕
- (6) 列状全幹調査区 (上荷集材) 傾斜2.3°  
 $= 4.616L_1 + 209.86 \cdots \cdots$ 〔7〕
- (要素作業毎のパラメータは表-3参照)

表-3. ワイヤ引出し, 材引寄せ速度及び要素作業平均値

要素作業	傾斜	定性		列状		列状	
		全幹	全幹	全幹	全幹	短幹	全幹
間伐方法	集材形態	上荷	下荷	上荷	下荷	上荷	上荷
$V_1$ ワイヤ引出速度 (m/s)	17°	0.63	0.53	0.61	0.40	0.57	0.56
$V_2$ 材引寄せ速度 (m/s)	19°	0.30	0.27	0.30	0.30	0.37	0.35
$t_1$ 荷掛け時間 (秒)	24°	11.81	20.55	21.17	20.33	66.26	24.29
$t_2$ 荷掛け直し (秒)	20°	0	18	0.29	0	18.47	75.29
$t_3$ 立木回避 (秒)	3.6°	2.38	20.21	0	5.33	24.37	13.00
$t_4$ 荷下ろし (秒)	2.3°	11.71	18.66	11.97	17.33	76.84	44.71
$t_5$ はい整理 (秒)		29.95	16.14	48.95	75.00	24.26	37.43
$t_6$ 集材ロス時間 (秒)		78.76	85.04	23.28	24.67	12.42	15.14

〔2〕～〔7〕式をもとに、ウィンチ付きバックホウ集材の1日当たり生産性を次の式で推定した。

- (1) 1日当たりの生産性  
 作業工程  $P$  ( $m^3/時$ ) =  $3600/T \times V \cdots \cdots$ 〔8〕  
 生産性 ( $m^3/日$ ) =  $P \times H \cdots \cdots$ 〔9〕  
 $T$ : サイクルタイム (秒/回)  
 $V$ : 1回当たりの集材量 ( $m^3$ )  
 $H$ : 1日の実労働時間 (6時間)

集材距離を変数とし、〔9〕式より、1日当たりの生産性を集材方向別に推定したのが図7, 8で、集材形態別に推定したのが図9である。

集材方向別の生産性では、定性、列状間伐とも上荷集材の方が集材距離に関わらず高い生産性を示した。集材距離20mでの生産性を比較すると定性間伐では15%、列状間伐では25%上荷集材が効率的な集材ができる。また、1日の集材目標を30 $m^3$ とした場合、定性間伐の上荷では14m、下荷では7mの平均集材距離になるような路網整備が必要となるが、列状間伐では、上荷は23m、下荷は13mの集材距離で目標とした集材ができるので、列状間伐では路網開設コストも低減できると考えられ優位性が確認できる。

また、集材形態別では、集材距離20mでの生産性を比較すると

全幹集材が短幹集材より34%効率良く集材ができる。1日の集材目標を30 $m^3$ とした場合、全幹集材では23m、短幹集材では6mの集材距離になるような路網整備が必要となり、短幹集材では、荷掛け、荷外し手間が全幹集材よりかかるため、集材効率が低下することが示唆された。

## IV. まとめ

バックホウ集材は、集材作業条件により生産性も異なることがわかった。今回の調査では、生産性が高い方から列状全幹集材、定性全幹集材、列状短幹集材の順となった。しかし、実際の間伐現場は小面積林分が多く、定性間伐でも使用できる効率的な小型機械が望まれており、小型バックホウは、全幅2mの集材路でも作業でき、小面積間伐に適するシステムであるので適正な路網配置と組合せることにより高い生産性が期待できる。バックホウ集材は20mを過ぎると生産性が低くなり〔2〕、さらに下荷集材では荷掛け者の負担が大きく集材効率が低下するため、路網は、なるべく集材区域の上部に開設する必要があると考えられる。また、短幹集材は、荷掛け・荷外しに時間がかり集材効率が低くなるため、バックホウ集材では、全幹集材が適していることが示唆された。

## V. おわりに

今回の報告では、バックホウ集材の間伐方法、集材方向、集材形態等作業条件の異なる間伐現場で作業工程調査を実施し生産性、労働生産性を算出し比較検討した。これをもとに間伐作業現場での検討資料になるのではないかとと思われる。また、バックホウの作業条件の異なる集材時間算出式で、作業条件に応じた集材時間や1日当たりの生産性を推計することができる。これをもとに1日の目標生産量に見合う路網密度や配置等の作業条件を推測することも可能である。今回の調査結果の要素作業別時間割合により、構成比率の大きな作業について検討を行い、作業効率の向上を目指した作業方法の改善に向けて検討し、本県の小面積な利用間伐に適応する集材作業システムモデルが提示できるように、さらに調査研究を推進していきたい。

## 引用文献

- (1) 2000年世界農林業センサス。  
 (2) 満留良文 (2005) 九州森林研究58:42-45  
 (2005年11月10日 受付; 2005年12月5日 受理)

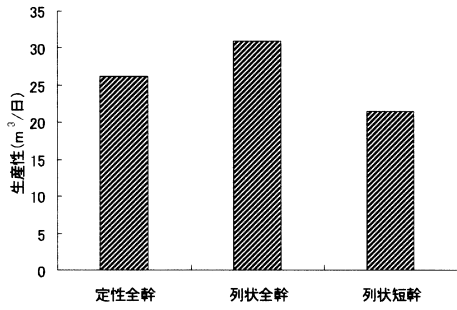


図-1. 間伐方式の違いによる生産性の比較

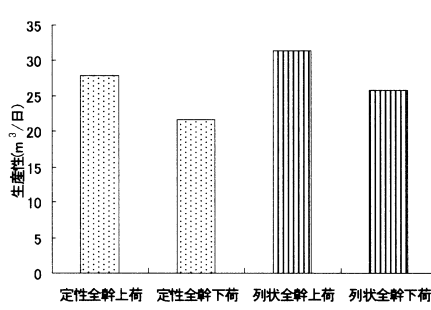


図-2. 集材方向の違いによる生産性の比較

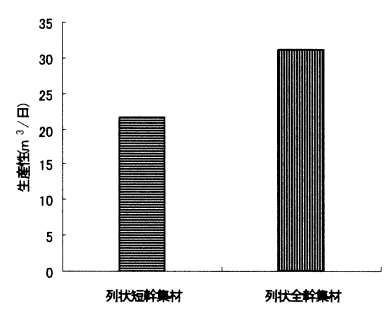


図-3. 集材形態の違いによる生産性の比較

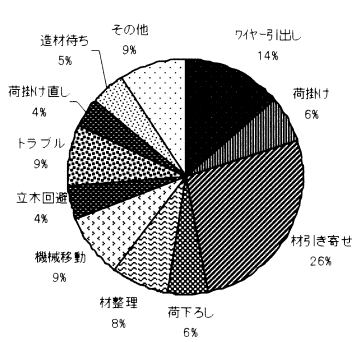


図-4. 定性全幹集材の作業時間割合 (川辺町)

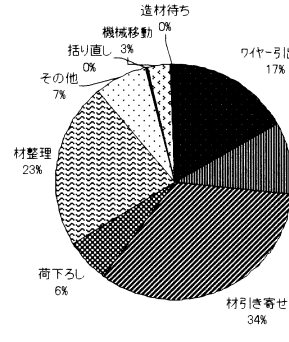


図-5. 列状全幹集材の作業時間割合 (知覧町)

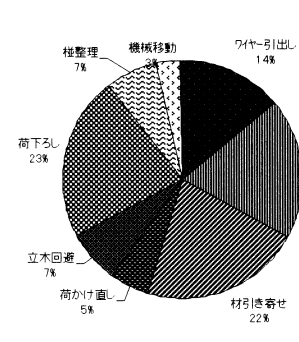


図-6. 列状短幹集材の作業時間割合 (大口市)

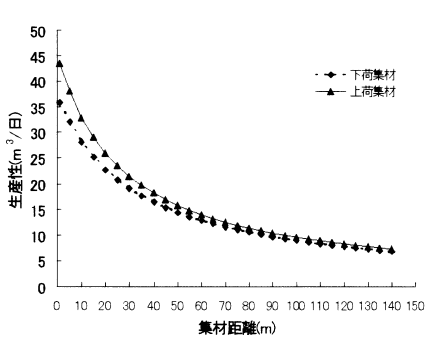


図-7. 集材方向別生産性推定 (定性間伐)

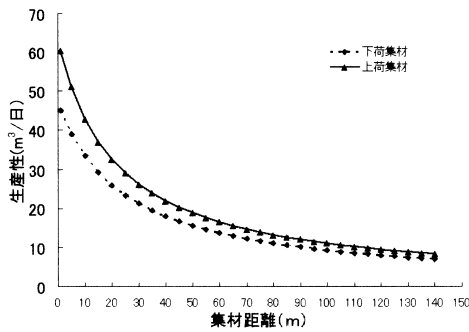


図-8. 集材方向別生産性推定 (列状間伐)

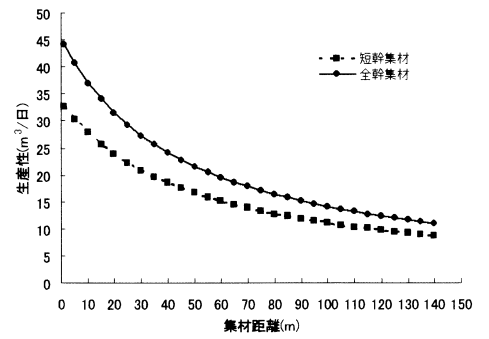


図-9. 集材形態別生産性推定 (列状間伐)