

高性能林業機械による効率的な作業システムに関する研究

2005年度～2007年度

齋藤哲生*¹・鈴木祥仁*²

要 旨

本県の林分条件等に適した高性能林業機械を使用した作業システムの確立のため、スイングヤーダ集材、プロセッサ造材、フォワーダ運材の作業システムの工期調査を行った。調査林分は9箇所、傾斜5～40度の条件で、スイングヤーダ集材が11.03～30.92m³/人日、プロセッサ造材が19.52～69.29m³/人日、フォワーダ運材が20.47～41.85m³/人日であった。伐倒工期を同一と仮定した試算では、総労働生産性は5.05～7.23m³/人日で、従来施業の約2倍の労働生産性であった。また、傾斜は労働生産性には大きな影響がみられず、スイングヤーダなど3機種を組み合わせた作業システムは、本県の地形条件に適合していると考えられた。

I はじめに

木材の需要量の大半を外国産材が占めるようになって以来、国産材の価格は長期低迷を続けている。また、経費負担の重い保育期と重なっていたことで、林業収入は期待できず、多くの山主の施業意欲も低迷した。さらに、山間地では過疎高齢化により、木材生産の担い手が不足している。そのため、保育等が行われない過密荒廃の森林が増加し、森林の公益的機能の低下が懸念されている。この状況を改善するため、機械化による間伐促進が期待されている。中山ら(1997)はタワーヤーダ集材、プロセッサ造材の架線系作業システムが愛知県の地形条件に適していることを明らかにした。また、鈴木ら(2005)は列状間伐が生産性の向上に不可欠であることを示した。現在、これらの成果をさらに改善した小型架線系作業システム、すなわち、チェーンソーによる列状伐倒、スイングヤーダによる作業路までの集材、プロセッサによる作業路での造材・樅積み、フォワーダによる作業路の土場から集積地までの運材を組み合わせた取り組みが始まっているが、労働生産性について

は明らかになっていない。そこで、本研究ではスイングヤーダやプロセッサ、フォワーダの林分条件に応じた労働生産性を明らかにするとともに、これらの高性能林業機械を使用した作業システムの適応性を検討した。

II 方法

調査地の概要を表-1に、調査工期数を表-2に示す。調査地の傾斜は5～40°の範囲である。スイングヤーダ集材は、上荷集材で5調査地7箇所、下荷集材で4調査地8箇所を調査した。プロセッサ造材は、上荷集材で6調査地10箇所、下荷集材で4調査地5箇所を調査した。フォワーダ運材は5調査地7箇所を調査した。作業条件と単木当たりの作業時間、丸太材積を調査した。

スイングヤーダ集材では、要素作業を索上げ、空搬器走行、索下げ、荷掛け、荷上げ、実搬器走行、荷下げ、荷外し、架設撤去とし、これらに属さない集材木の地掛かり処理などはその他の作業として区分した。単木当たりの材積は、1本当たりの造材丸太材積の計とし、造材丸太材積は、素

Tetsuo SAITO, Yoshihito SUZUKI: Efficient logging system with forestry machines

*1 現農林水産部農林基盤担当

*2 現新城設楽農林水産事務所

表－1 調査地の概要

調査地	(略称)	樹種	林齡 (年)	立木 密度 (本/ha)	平均 樹高 (m)	平均 胸高 直径 (cm)	傾斜 (度)
豊田市稲武町横川入	(稲武)	スギ	45	1,000	19.0	24	5~40
新城市作手清岳字ムカイノ	(清岳)	ヒノキ	50	1,310	24.2	20	8
新城市作手荒原字雁峯	(荒原)	スギ	46	1,140	20.4	25	38
新城市作手守義字下田ノ口	(守義)	ヒノキ	30~70	1,520	19.0	21	5~25
豊根村富山字アジメ	(富山)	スギ・ヒノキ	48~58	1,130	23.0	27	35
豊橋市嵩山町	(嵩山)	ヒノキ	70	1,140	23.5	24	25
豊根村坂宇場字向	(坂宇場)	スギ・ヒノキ	55	700	21.0	26	35
豊根村三沢字用谷山	(三沢)	スギ	54	1,130	22.0	26	5
新城市須長字雁峯	(須長)	ヒノキ	71	910	19.0	24	24

表－2 各調査地の工期ごとの調査箇所数

調査地	間伐 方法	伐倒 方向	スイング ヤード集材		プロセッサ 造材		フォワーダ 運材	
			上荷	下荷	上荷	下荷	上荷	下荷
			稲武	列状	下方	2		3
清岳	列状	上方		4		1		
荒原	列状	下方		2	2			2
守義	列状	下方				2		1
富山	列状	下方	2		1	1		2
嵩山	列状	下方	1	1	2			1
坂宇場	列状+点状	下方		1		1		
三沢	列状+点状	下方	1			1		
須長	帯状	下方	1			1		

※列状間伐は2残1伐。帯状は幅10m伐。

材の農林規格に基づき末口自乗法により算出した。また、作業条件として、集材列の距離と1列当たりの集材本数を記録した。労働生産性は集材材積を単木当たり材積に集材本数を乗じて算出し、これを集材時間で除して算出した。1日の作業時間単位は6.4時間とした。

プロセッサ造材は、要素作業を空移動、材つかみ、実移動、枝払い・玉切り、末梢処理、極積み、枝条処理とし、これらに属さない造材木の太枝のチェーンソー枝払い処理などはその他の作業に区分した。単木当たりの材積は、スイングヤード集材と同様に算出した。労働生産性は、造材材積を造

材時間で除して算出した。

フォワーダ運材は、土場から集積地点までの往復移動と積み込み、荷下ろし時の車載グラップル作業とした。積荷丸太材積は、造材と同様の方法で算出した。移動速度は、運搬距離と移動時間から算出した。労働生産性は、積荷丸太材積を移動時間と積み込み、荷下ろし時間の和で除して算出した。

施業地の総労働生産性は、集材、造材、運材工期のすべてを調査した稲武、荒原、富山、嵩山について算出した。総労働生産性(P)は伐倒、集材、造材、運材工期の労働生産性(P₁~P₄)から、次式により算出した。なお、伐倒工期は100本/人日と仮定し、各調査地の単木当たり材積を乗じて算出した。

$$P = \frac{1}{\frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2} + \frac{1}{P_3} + \frac{1}{P_4}}$$

III 結果と考察

1. スイングヤード集材

スイングヤード集材の調査結果を表－3に示す。スイングヤードの労働生産性は上荷が11.03~30.92 m³/人日、平均17.67m³/人日、下荷が14.55

表-3 スイングヤード集材調査結果

集材方向	調査地	集材列数 (列)	計測集材本数 (本)	平均単木材積 (m ³)	平均集材距離 (m)	集材時間 (分/本)	索上げ (分/本)	空搬器走行 (分/本)	索下げ (分/本)	荷掛け (分/本)	荷上げ (分/本)	実搬器走行 (分/本)	荷下げ (分/本)	荷外し (分/本)	その他 (分/本)	架設撤去時間 (分/本)	総架設撤去時間 (分)	労働生産性 (m ³ /人日)
上荷集材	稲武①	5	21	0.531	32	7.1	0.2	0.4	0.0	0.5	0.0	0.6	0.3	0.3	4.7	2.6	10.9	21.09
	稲武②	6	41	0.400	26	3.3	0.2	0.4	0.1	0.6	0.0	0.6	0.2	0.3	0.7	1.6	10.8	30.92
	富山①	2	32	0.254	21	6.0	0.3	0.3	0.2	0.5	0.4	0.7	0.6	0.4	1.4	0.7	38.8	11.03
	富山②	2	18	0.309	16	5.7	0.6	0.4	0.1	0.8	0.4	0.8	0.7	0.5	3.6	1.2	23.7	15.59
	嵩山①	7	55	0.189	17	4.0	0.3	0.2	0.1	0.7	0.2	0.5	0.2	0.6	1.6	1.4	18.6	12.68
	三沢	1	15	0.289	50	7.8	0.3	1.3	0.0	1.0	0.5	1.6	0.3	0.5	2.4	0.7	5.5	13.57
	須長	2	27	0.246	17	4.7	0.2	0.3	0.1	0.8	0.0	0.8	0.1	0.7	1.2	0.8	27.8	15.09
	平均	4	30	0.317	26	5.5	0.3	0.5	0.1	0.7	0.2	0.8	0.4	0.5	2.2	1.3	19.4	17.67
	下荷集材	清岳①	4	38	0.333	36	4.4	0.3	0.6	0.2	0.3	0.3	0.9	0.3	0.7	0.8	1.1	21.9
清岳②		4	41	0.333	35	3.4	0.2	0.6	0.2	0.2	0.3	0.8	0.2	0.8	0.2	1.1	21.1	26.12
清岳③		4	46	0.333	36	4.0	0.2	0.6	0.2	0.6	0.3	1.0	0.2	0.6	0.3	0.9	28.1	21.24
清岳④		2	33	0.333	55	4.6	0.3	0.9	0.1	0.4	0.3	1.1	0.3	0.8	0.5	0.7	52.5	14.55
荒原①		2	22	0.368	31	5.5	0.2	0.7	0.0	1.0	0.2	1.6	0.2	0.8	0.7	1.0	37.6	16.27
荒原②		2	21	0.368	29	5.0	0.4	0.9	0.1	0.6	0.1	1.2	0.7	0.8	0.2	1.0	40.0	18.92
嵩山②		2	27	0.189	35	2.8	0.2	0.3	0.1	0.4	0.1	0.6	0.2	0.5	0.7	0.8	21.6	16.47
坂宇場		1	16	0.286	51	5.6	0.1	0.8	0.0	0.6	0.2	1.2	0.2	0.8	0.4	0.7	7.0	17.93
平均		3	31	0.318	39	4.4	0.2	0.7	0.1	0.5	0.2	1.1	0.3	0.7	0.5	0.9	28.7	19.85

～26.12 m³/人日、平均19.85m³/人日であった。平均単木材積はほぼ等しかったが、1本当たりの集材時間は上荷で平均5.5分、下荷で平均4.4分であり、下荷が上荷に比べ効率が良かった。この作業時間の差が労働生産性に表れたと考えられる。架設撤去は、上荷で平均19.4分、下荷で平均28.7分であり、下荷が上荷に比べ作業時間が多かった。これは、下荷の方が上荷より平均集材距離が長かったためと考えられる。

スイングヤードの労働生産性は単木材積が大きいほど高かった(図-1)。集材木が大きい場合、作業効率が低下すると考えられるが、集材時間が増える影響よりも生産材積が増える影響の方が大

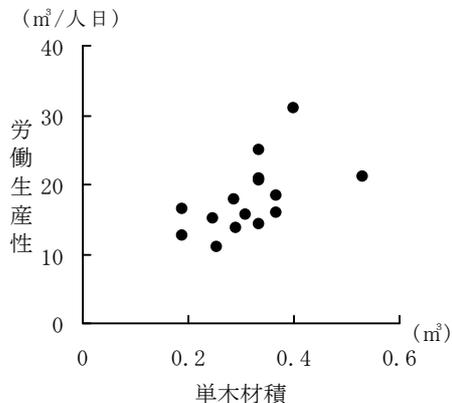


図-1 単木材積とスイングヤード集材の労働生産性

きいため、労働生産性が高くなることを示している。傾斜と労働生産性の関係は認められなかった(図-2)。

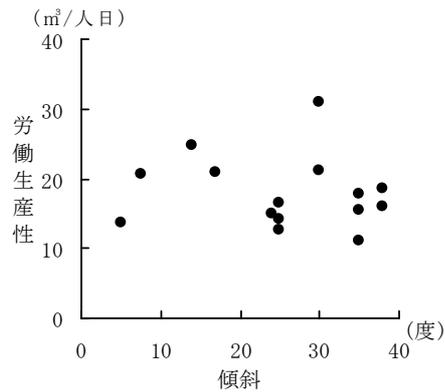


図-2 傾斜とスイングヤード集材の労働生産性

スイングヤード集材作業に占める要素作業の構成比率を調査地の上荷・下荷別、緩傾斜順で図-3に示す。上荷集材で比率が最大だったのは実搬器走行で、平均24%を占めた。また、平均比率が10%を超えた要素は荷掛け、空搬器走行、荷外し、荷下げであった。荷下げは、最も緩傾斜の三沢で比率が最小であり、最も急傾斜の富山で比率が大きかった。これは、急傾斜地では集材木を置くと滑り落ちることもあるなど、傾斜の影響を受ける

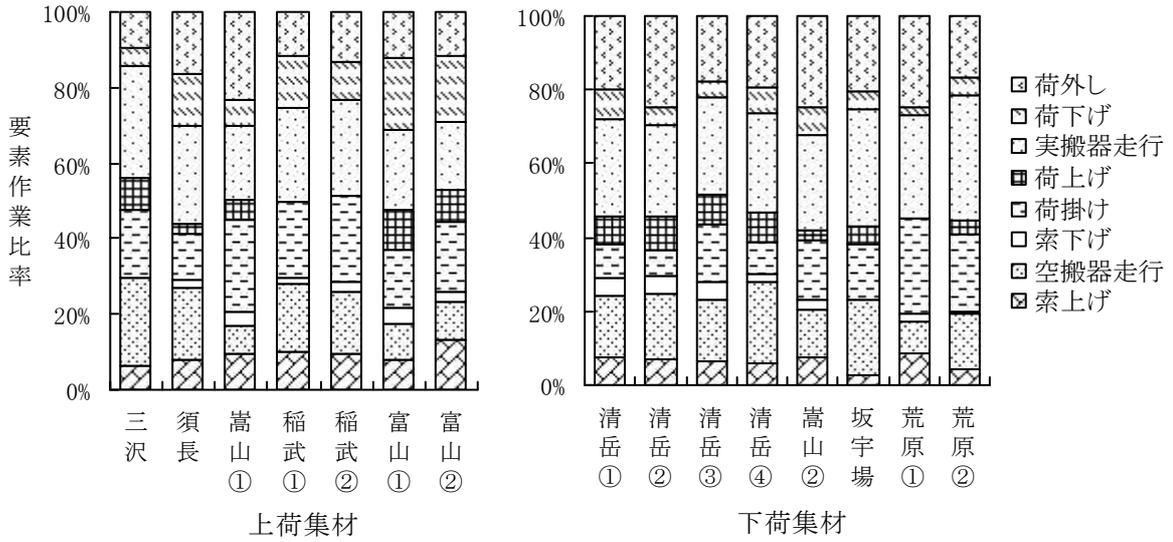


図-3 スイングヤード集材の要素作業比率

ことによると考えられた。荷掛けは、平均19%と大きな比率を占めた。これは、人が行う作業のためと考えられた。

下荷集材で比率が最大だったのは、上荷同様実搬器走行で平均28%を占めた。実搬器走行の比率は上荷より大きかったが、下荷集材調査地の平均集材距離が上荷集材調査地より長かったためと考えられた。また、平均比率が10%を超えたのは荷外し、空搬器走行、荷掛けであり、上荷と同一であった。また、空搬器走行、実搬器走行の比率は、調査地間のばらつきが上荷よりも大きかったが、

これは下荷集材の作業性が影響していると考えられた。また、人の行う作業である荷掛け、荷外しの作業時間の比率が搬器走行の次に大きいことから、作業者の熟練も作業時間の短縮に効果的であることが推察された。

2. プロセッサ

プロセッサ造材の調査結果を表-4に示す。造材工程の労働生産性は、上荷で平均37.64m³/人日、下荷で平均32.08m³/人日で上荷が下荷よりも高かった。造材された単木材積は、上荷が下荷よりも大きかった。また、労働生産性は単木材積が大きい

表-4 プロセッサ造材調査結果

集材方向	調査地	計測集材本数 (列)	計測造材本数 (本)	平均単木材積 (m ³)	平均採材丸太本数 (玉)	極積み回数 (回)	極積み1回当たり造材本数 (本/回)	造材時間 (分/本)	空移動時間 (分/本)	材つかみ時間 (分/本)	実移動時間 (分/本)	枝払い玉切り時間 (分/本)	末梢処理時間 (分/本)	極積み時間 (分/本)	枝条処理時間 (分/本)	その他作業時間 (分/本)	労働生産性 (m ³ /人日)
上荷集材	稲武①	5	27	0.652	3.6	27	1.0	6.9	0.1	0.3	0.2	1.7	0.1	1.9	0.2	2.4	36.08
	稲武②	5	21	0.540	4.2	21	1.0	7.2	0.1	0.3	0.2	1.7	0.1	1.9	0.2	2.7	28.73
	稲武③	6	41	0.370	3.3	34	1.2	4.6	0.1	0.2	0.3	1.1	0.1	1.5	0.4	0.9	30.77
	須長	1	54	0.246	2.5	23	2.3	4.8	0.0	0.3	0.5	0.8	0.3	0.8	1.6	0.6	19.52
	荒原①	3	34	0.525	4.0	13	2.9	5.0	0.1	0.4	0.8	1.5	0.2	1.5	0.2	0.4	40.00
	荒原②	6	67	0.288	2.9	17	3.9	2.6	0.2	0.2	0.3	1.0	0.2	0.3	0.3	0.1	42.79
	富山	5	52	0.254	4.7	16	3.3	2.4	0.2	0.3	0.1	1.3	0.1	1.4	0.1	0.4	26.54
	嵩山①	2	38	0.525	3.5	4	10.0	2.5	0.0	0.2	0.1	1.3	0.3	0.0	0.1	0.6	69.29
	嵩山②	3	75	0.203	2.9	6	14.5	2.3	0.1	0.3	0.0	1.3	0.4	0.1	0.2	0.3	31.61
	三沢	1	19	0.481	2.8	11	1.7	3.6	0.1	0.3	0.3	1.1	0.2	1.3	0.0	0.3	51.06
平均	4	43	0.408	3.4	17	4.2	4.2	0.1	0.3	0.3	1.3	0.2	1.1	0.3	0.9	37.64	
下荷集材	清岳	5	72	0.333	3.4	25	2.9	3.3	0.2	0.3	0.2	0.9	0.3	0.9	0.2	0.2	39.13
	守義①	1	28	0.218	3.2	10	2.8	2.5	0.1	0.2	0.7	0.6	0.2	0.5	0.1	0.0	33.40
	守義②	2	43	0.190	2.2	12	4.7	2.7	0.2	0.1	0.5	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	26.99
	富山	3	38	0.242	3.9	21	1.9	3.5	0.2	0.6	0.4	1.5	0.3	1.3	0.1	1.4	22.14
	坂宇場	1	9	0.314	3.3	7	1.3	3.1	0.1	0.2	0.3	1.1	0.1	0.8	0.2	0.3	38.77
平均	2	38	0.260	3.2	15	2.7	3.0	0.2	0.3	0.4	0.9	0.2	0.7	0.1	0.4	32.08	

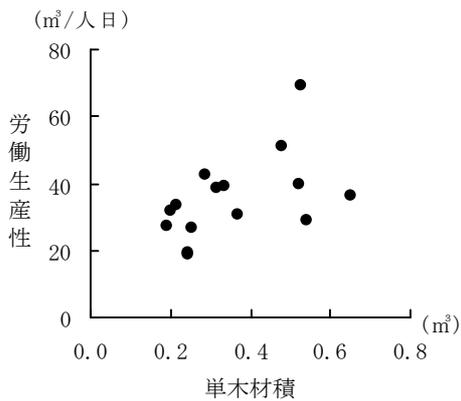


図-4 単木材積とプロセッサ造材の労働生産性

ほど高かった(図-4)。これらのことから、単木材積の違いが上荷と下荷の労働生産性の差に反映されたと考えられた。要素作業では、玉切りまでの所要時間で上荷と下荷でほぼ等しく、その後の付帯作業の極積み、枝条処理、その他作業の発生によって所要時間の差が生じていた。このため、上荷と下荷は基本的な作業はほとんど効率が変わらないと考えられた。

プロセッサの労働生産性は、傾斜が大きくなると低下する傾向があった(図-5)。これは、作業に占める時間が大きい極積み作業に傾斜が影響するためと考えられた。

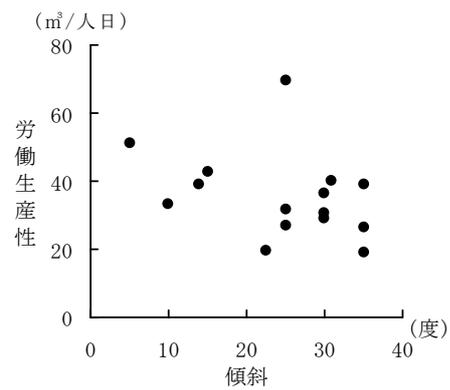


図-5 傾斜とプロセッサ造材の労働生産性

プロセッサ造材作業に占める要素作業の構成比率を調査地の傾斜が緩い順、上荷・下荷別に図-6に示す。上荷集材で比率が最大だったのは、極積みで平均29%を占めた。また、平均比率が10%を超えたのは、1番玉造材と枝条処理であった。極積みは、傾斜の小さい荒原②と嵩山では比率が小さかった。これは、玉切りと同時に林地に丸太を落とすことで直接極積みすることができたため、緩傾斜地の有利さが表れたと考えられる。傾斜が急である場合は、作業路と林地に落差が生じる場合が多く、林地に丸太を置くと滑落や後のフォワーダへの積み込み作業時に不利となることが

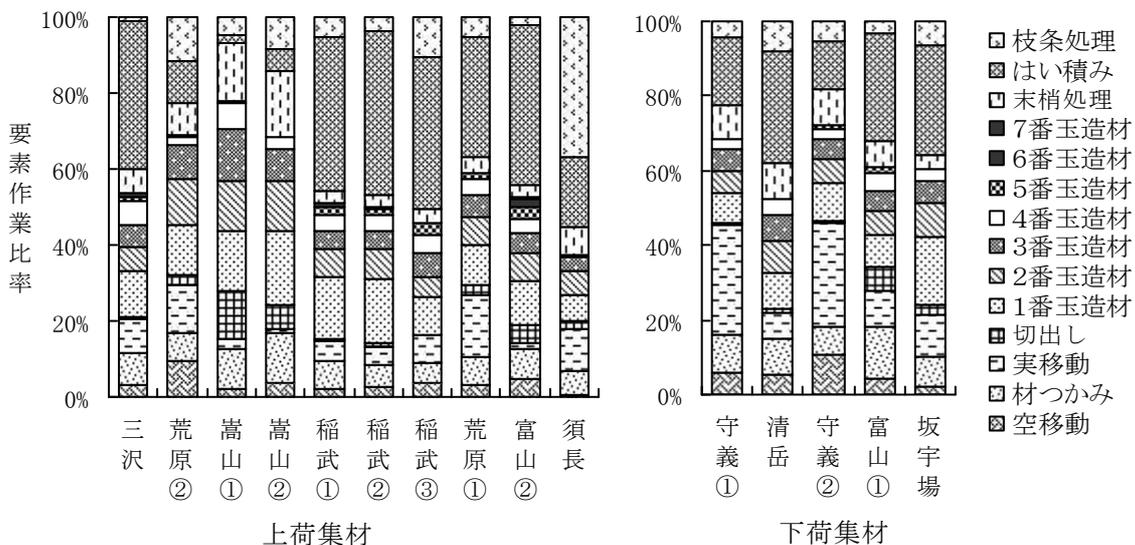


図-6 プロセッサ造材の要素作業比率

多かった。ただ、最も急傾斜であった須長では逆に比率が小さかったが、これは伐採幅が他調査地より広く、土場として利用できる余地が多かったためと考えられた。しかし、須長は枝条処理の比率が大きかった。これは、伐採幅が広く、一列当たり造材本数が多かったため、処理後の枝条処理に時間がかかったためと考えられた。嵩山では切出しの比率が大きかった。これは、作業者が採材の検討を丁寧に行っていたため、コストではなく、投資的な側面をもった要素作業と考えられた。

下荷造材で比率が最大だったのは、上荷同様、極積みで平均24%を占めた。このほか、平均比率が10%を超えたのは、実移動や1番玉造材であった。上荷と比較すると、材つかみと実移動の比率が大きかった。上荷では樹幹をつかみ、移動させるが、下方伐倒の下荷では梢端側をつかみ、造材部まで引き下ろす作業が必要になる。この作業の差が表れたと考えられた。調査地間で比率のばらつきが大きかったのは実移動で、傾斜の影響はあるものの、作業時間の短縮が図れる要素作業であるといえた。また、極積み、枝条処理は比率が大きいが、作業環境に規制される作業でもあり、作業路作設を工夫するほか、集材箇所を検討も必要であると考えられた。

3. フォワード

フォワード運材の調査結果を表-5に示す。フォワードの労働生産性は、20.47~41.85 m³/人日であった。積込み、荷下ろし作業では、1 m³当たり要した時間と運搬1回当たりの積荷材積との間に明瞭な関係は認められなかった。これは、それぞれの調査地で土場の条件やグラップル操作技術の違いによる影響を受けたためと推察された。また、運材では、一般的に運搬距離が長いほど移動時間が増え、労働生産性は低下する。しかし、運搬距離が最長の嵩山は、他の調査地よりも労働生産性が高かった。これは、嵩山では積荷材積も移動速度も大きく、運材距離の不利を移動速度でカバーしていたと考えられた。運材速度は38~114m/分で、最も急傾斜の富山は、嵩山の約40%の速度であった。これは、富山が傾斜のため作業路の幅員が狭く、スイッチバック箇所が多いためと考えられた。一方、運材速度が最大の嵩山では、傾斜は中庸であったが、スイッチバック箇所や急勾配区間が少なく、幅員も確保されていた。これらのことから、好適な作業路確保が労働生産性の向上に重要であることが示された。

フォワード運材作業に占める要素作業の構成比率を運材距離順に図-7に示す。要素作業では空

表-5 フォワード運材調査結果

調査地	平均 単木 材積 (m ³)	積荷 丸太材積 (m ³ /回)	積込 時間 (分/m ³)	荷下ろし 時間 (分/m ³)	運搬 距離 (m)	運材 速度 (m/分)	運材 時間 (分/回)	労働 生産性 (m ³ /人日)
稲武	0.495	3.462	12.0	4.1	370	80	4.7	20.47
荒原①	0.368	2.911	4.7	4.0	260	76	3.4	35.02
荒原②	0.368	2.444	5.5	6.0	50	57	0.9	31.41
守義	0.201	3.079	9.2	4.7	130	38	3.5	23.81
富山①	0.198	2.029	4.7	3.7	225	47	4.8	26.27
富山②	0.198	3.293	4.0	2.5	235	40	5.9	37.20
嵩山	0.311	4.453	2.9	2.6	930	114	8.2	41.85

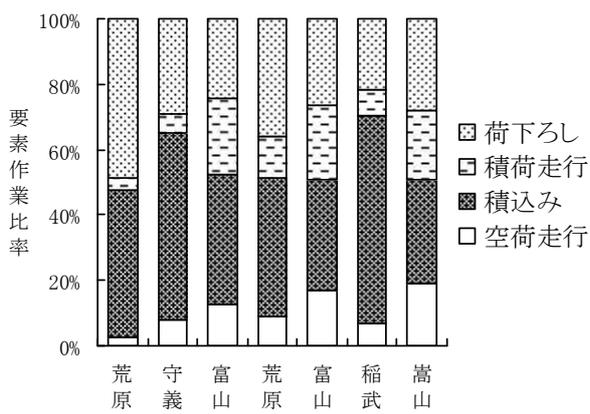


図-7 フォワーダ運材の要素作業比率

荷、積荷を合わせた走行時間は運搬距離の影響を受けており、運搬距離が最短の荒原②では6%であったが、最長の嵩山では40%を占めた。荷下ろしはいずれも作業全体の60%以上と大きな割合を占めた。積込み、荷下ろし作業は積荷材積に応じて作業時間はほぼ一定で、作業の支障となる地形条件等は認められなかった。従って、フォワーダの労働生産性は、作業者が習熟することにより、運搬距離に応じてほぼ一定の値に近づくものと推察された。ただし、積込み、荷下ろしに使用した車載グラップルが小型で一般的なグラップル作業に比べ低い能力で、一度につかめる丸太本数に制限があり、極の丸太をつかみ損ねることもあった。また、プロセッサが造材作業の合間に積込みを行った場合に、車載グラップルに比べ数倍の作業性であった。これらのことから、プロセッサによる積込みやグラップル作業機を作業システムに加えることで労働生産性が向上する可能性があると考え

えられた。

4. 作業システム

スイングヤード集材、プロセッサ造材、フォワーダ運材の全工程を調査した4調査地における伐倒から運材までの総労働生産性を表-6に示す。総労働生産性は5.05~7.23 m³/人日であった。また、総労働生産性は単木材積が大きいほど高い傾向が認められた(図-8)。これは、前述の1.~3.に示すとおり、集材、造材、運材の全ての工程で単木材積と労働生産性に強い関係があったためである。傾斜は全工程の要素作業に影響していたが、労働生産性に及ぼす影響は明らかでなかった。

現在、間伐の労働生産性は平均3.45m³/人日の報告があり(林野庁, 2007)、本県で普及しつつあるスイングヤードやプロセッサ、フォワーダを組み合わせた作業システムは、その約2倍の労働生産性があることが明らかになった。しかし、林分材積

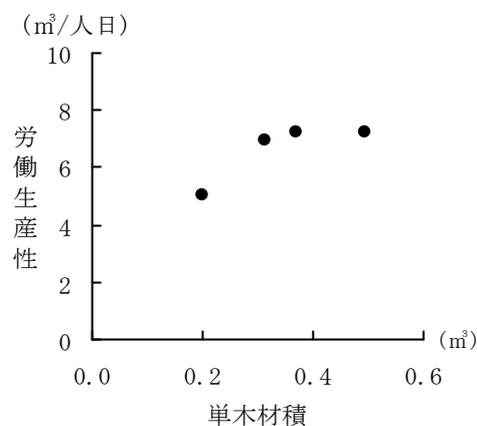


図-8 単木材積と総労働生産性

表-6 施業地の労働生産性

調査地	平均単木材積 (m ³)	伐倒 (m ³ /人日)	スイングヤード集材 (m ³ /人日)	プロセッサ造材 (m ³ /人日)	フォワーダ運材 (m ³ /人日)	労働生産性 (m ³ /人日)
稲武	0.495	49.55	26.01	31.86	20.47	7.20
荒原	0.368	36.82	17.60	41.39	33.22	7.23
富山	0.198	19.83	13.31	24.34	31.74	5.05
嵩山	0.311	31.15	14.58	50.45	41.85	6.92

等の条件は労働生産性に影響するが、それでも従来作業を上回っており、本県の林分条件に適した作業システムであることが示された。

引用文献

中山学・山路和義・榊原弘修・大林育志（1997）
地域に適した林業機械作業システム研究.

愛知林セ報34：7-33.

鈴木祥仁・竹内豊・山本勝洋・熊川忠芳（2005）
高性能林業機械による列状間伐の生産性評価
に関する研究. 愛知森林セ報42：1-13.
林野庁企画課（2007）平成18年度素材生産費等調
査報告書：184pp.