

林内作業車の合理的作業方法に関する研究

—作業工程に関わる積載条件及び燃料消費率の検討—

加藤 龍 一

要 旨

林内作業車（デルピスDP-100型）への間伐材の積み込みに係る調査を行った。また作業車の平均速度、燃料消費率についても調査した。その結果、丸太はよく乾燥すれば生の状態のほぼ2分の1の軽さとなり、クレーンによる積載の所要時間は平均5.3分で人力の場合の約3分の1であった。しかも径級、長さがそろっている場合は平均4.4分であり、そろっていない場合の平均7.1分との間に有意な差がみられた。いっぽう平均速度及び燃料消費率についてみると、これらは作業現場の諸条件によって異なるが、作業車を走行させる目安の1つとして我々が日常行っている「歩行動作」に基準をみつけることが出来た。すなわち、荷を積んで走行する場合は一般的には「やや遅く歩く速さ」程度で運転するのが安全と思われ、この場合で平均速度にして4 km/h前後、燃料消費率は約2.4km/lと算定された。

I. はじめに

これまで行ってきた林内作業車（デルピスDP-100……以下搬機）による間伐材の搬出工程の調査分析から、材を運んだり、搬機を移動（空荷走行）させる時間あるいは荷降ろし等の時間は、全作業時間（1サイクル時間）に占める割合や時間的なバラツキも少なく作業時間も安定していた。しかしこれにくらべ、材を積み込む時間（以下積載時間）をみると人力によることもあってか、材が最も乾いて軽くなった状態でも全作業時間の約1/3を占める結果となった。以上のことから搬機を用いた間伐材の搬出作業では積み込みに関わるウェイトは大きく、しかもその条件によってはかなり時間の差が生じ、作業能率全体に大きな影

響を及ぼすものと考えられた。

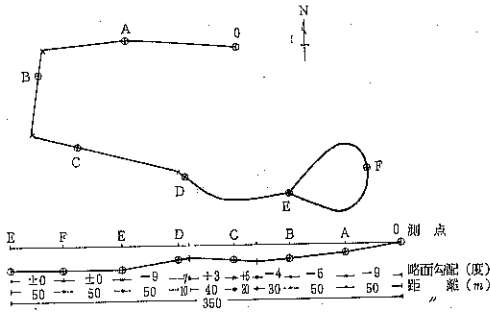
そこで今回の試験では、まず積載に関する検討を行った。これについてはまず間伐材が生の状態と乾いた状態では一体どのくらい重量に差があるものなのか、また機械力で積み込む場合はどれくらいの時間がかかるのかを調査分析した。いっぽう作業の条件が平均速度や燃料消費率にどのようにかかわってくるのかなどについても調査分析を行った。

II. 実施場所と方法

1. 試験地の概況等

積載に関しては昭和59年度に当センター試験林において、また燃料消費率に関する走行試験は翌昭和60年度当センター内で実施した。走行試験地

の概況は図一1のとおりである。



図一1 走行試験地の概況

(注) D→E→F→Eを下げ荷、E→F→E→Dを上げ荷とした。

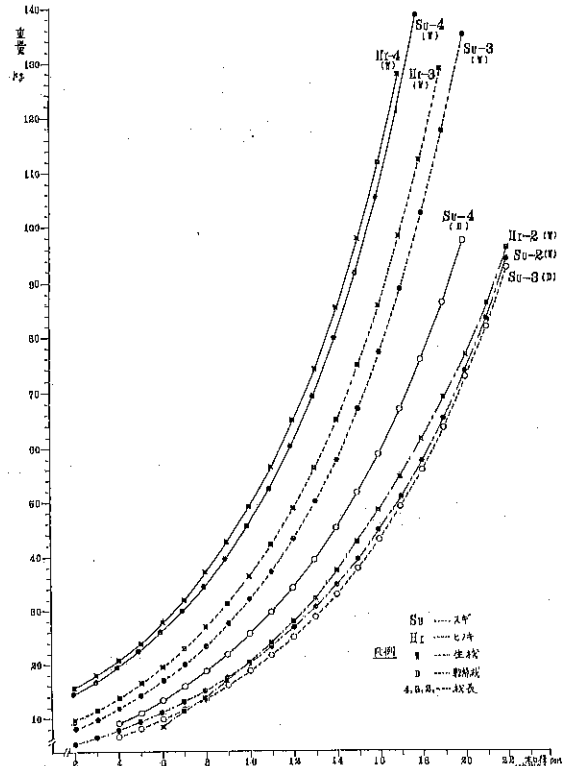
2. 試験方法

1) 間伐材(丸太)の重量測定についてはスギ、ヒノキを4月に伐倒し、1か月後にこれらの中から852本(スギ215本、ヒノキ637本)を太さ別本数がおよそ揃うように抽出し、1本ごとを台ばかりにかけて重量を測定した。そしてこれらの実測値を末口直径別(樹皮を除く最短径)、材長別(4m、3m、2m)、樹種別(スギ、ヒノキ)にまとめ、丸太の太さと重量の関係について修正指数式($Y=K-ab^x$ x:末口直径 Y:重量)を用いて推定し、これを生の状態での重量とし、一方において同様の方法で求めておいたスギ丸太(2月伐倒、12月測定)782本の推定値を、最も乾燥した状態での重量としてこの両者の比較を行った。

2) 人力と機械力による積載時間の違いをみるために、伐倒後生の状態でのスギ、ヒノキの間伐材をクレーンを用いて搬機に積み込み、この際の積載本数、積載時間、積み荷の内訳について1車ごとに調査した。なお伐倒木は太さ別、長さ別に分けて椏積みしておいた。

3) 作業条件と平均速度及び燃料消費量との関係については、平坦地と傾斜地でまた下げ荷と上げ荷運搬で、それぞれ積載重量、ギヤー位置、エンジンの回転数(以下回転数)等を組み合わせた走行テストを行った。

積載重量は空荷状態から本機の最大積載量まで



図一2 生材と乾燥材の重量比較

表一1 推定式のパラメーター

$Y=K-ab^x$			
区分	K	a	b
H ₁ -4-W	-3.538	+18.488	1.140
S ₀ -4-W	-1.102	+15.500	1.148
H ₁ -3-W	-5.970	+14.988	1.138
S ₀ -3-W	-4.162	+14.029	1.145
S ₀ -4-D	-7.626	+16.527	1.123
H ₁ -2-W	-19.626	+33.370	1.093
S ₀ -2-W	-4.483	+13.826	1.122
S ₀ -3-D	-4.933	+11.550	1.126

注 H₁:ヒノキ W-生材 4.3.2-材長(m)
S₀:スギ D-乾燥材

4通り、即ち0、800、1,000、1,200kgで行った。これら各重量はシイタケのほだ木等を重量測定して求めた。ギヤー位置及び回転数については予備に行った約10kmの走行テストの状況から、ギヤー位置は1速(ロー)及び2速(セカンド)で、平均回転数は3,000及び3,500r.p.mが妥当と判断し

表一 2 クレーンによる積込み時間測定値

調査No.	時間	本数	太さ(末口径)別本数内訳			備考
			3~6cm	7~12cm	13~18cm	
1	5分	35本	本	35本	本	4 m、3 m
2	5	38		38		
3	4	42		42		
4	4	41		41		
5	4	45		45		
6	7	41		24	17	
7	7	45	19	17	9	
8	3	45	45			
9	5	46		46		
10	10	46	2	29 5	2 8	上段 4 m、3 m 下段 2 m
11	5	39		39		4 m、3 m
12	5	44		44		
13	4	40		40		
14	4	41		41		
15	5	44		44		
16	5	41		41		
17	5	42		42		
18	4	25			25	
19	4	30			30	
20	6	39	22	17		
21	7	49			23 26	上段 4 m 下段 2 m
22	7	39		31	8	上段 4 m、3 m 下段 2 m
23	5	36		33	3	4 m、3 m
24	8	51	5	28	18	上段 4 m、3 m 下段 2 m

太さ(末口径)別本数内訳

これらの組合せの中で行うこととした。なおギヤーは走行中には変えないものとした。また回転数については搬機にとりつけたタコメーター(デジタル式)をみながら、これを制御する方法をとった。走行試験地の路面勾配は平坦地及び図一に示した0~10度(0~17.6%)の傾斜地であった。

以上の作業条件のもとでの走行テストの組合せは以下のとおりである。

ア) 平坦地においては積載重量、ギヤー位置、回転数の全てを組合せた16通りについて、それぞれ1回の走行距離50mを10回くり返した。延べ走行距離数は8 kmである。

イ) 傾斜地においては、空荷状態で回転数を決

表一 3 デルピス(DP-100)作業功程

—積載重量、平均速度、燃料消費率の関係—

項目	作業条件				作業功程			
	積載重量(kg)	路面勾配(度)	ギヤー位置	回転数(r.p.m)	路面状況	時速(km/h)	燃比(km/ℓ)	
平坦地	0	±0	L	3000	乾燥	3.6	2.1	
	800				"	3.6	2.1	
	1000				"	3.6	2.1	
	1200				"	3.6	1.8	
	0	±0	S	3000	"	5.9	3.2	
	800				"	6.0	3.1	
	1000				"	5.8	3.1	
	1200				"	5.9	2.6	
	走行	0	±0	L	3500	"	4.2	2.1
		800				"	4.1	2.0
		1000				"	4.1	2.1
		1200				"	4.1	1.7
0		±0	S	3500	"	6.9	3.1	
800					"	6.9	3.2	
1000					"	7.0	3.0	
1200					"	6.8	2.4	
傾斜地		0	0~10	L	3000	"	3.6	2.4
				S		"	6.0	3.8
		0	0~10	L	3000	"	3.6	2.0
				S		"	6.0	3.2
	0	0~10	L	3500	"	4.2	2.6	
	800				"	3.9	2.4	
	1000				⊖	"	4.0	2.4
	1200				"	"	4.0	2.4
	1200				降雨後	"	3.9	2.1
	1200				平均	"	4.0	2.2
	0	0~10	L	3500	乾燥	4.2	2.2	
	800				"	3.8	1.7	
1000	⊕				"	4.0	1.7	
1200	"				4.0	1.6		
1200	降雨後				"	3.9	1.4	
1200	平均				"	3.9	1.5	

(注) 1. 表中の時速 km/h は平均速度を、燃比は燃料消費率を示す。
2. 記号は L: 1速(ローギヤー)、S: 2速(セカンドギヤー)、⊕: 上げ荷、⊖: 下げ荷を示す。

表-4 積載重量と走行時間及び燃料消費量の関係

—平地地走行—

積載重量 (kg)	ギヤ位置	回転数 (r.p.m)	所要時間 燃料消費量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均	
				秒	cc	秒	cc	秒	cc	秒	cc	秒	cc	秒	cc
0	L	3000	秒	50	50	50	50	51	51	51	50	51	50	50.4	
			cc	25	20	25	25	20	25	25	25	25	25	24.0	
		3500	秒	43	43	44	43	43	43	43	43	43	44	43	43.2
			cc	25	25	25	25	20	25	25	25	25	20	20	23.5
	S	3000	秒	31	30	30	32	31	31	31	31	31	30	30	30.7
			cc	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15.5
3500	秒	25	25	27	27	26	26	26	26	27	26	26	26	26.1	
	cc	15	15	15	15	15	15	15	15	15	20	20	15	16.0	
800	L	3000	秒	50	50	49	50	51	50	51	50	50	50	50	50.1
			cc	20	25	20	25	25	20	25	25	25	25	25	23.5
		3500	秒	44	43	44	43	44	44	44	44	43	44	44	43.7
			cc	25	30	25	25	25	25	30	25	25	25	20	25.5
	S	3000	秒	30	30	30	30	30	29	31	30	30	30	30	30.0
			cc	20	15	20	15	15	15	15	15	15	15	15	16.0
3500	秒	27	26	26	27	26	26	26	25	26	26	26	26	26.1	
	cc	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15.5	
1000	L	3000	秒	50	50	50	51	50	51	50	51	51	51	51	50.5
			cc	25	20	20	25	25	25	25	25	25	25	25	24.0
		3500	秒	43	44	44	44	43	44	44	44	44	43	44	43.7
			cc	25	25	20	25	25	25	20	25	20	25	25	23.5
	S	3000	秒	32	31	31	32	31	32	31	32	31	30	30	31.3
			cc	20	15	15	15	15	15	15	15	15	20	15	16.0
3500	秒	26	26	26	26	25	26	26	26	26	25	26	26	25.8	
	cc	20	15	20	20	20	15	15	15	15	20	15	17.5		
1200	L	3000	秒	50	49	51	50	50	51	51	51	50	51	50.4	
			cc	30	25	30	25	30	30	25	30	30	25	28.0	
		3500	秒	46	44	45	44	44	44	44	44	44	43	45	44.3
			cc	35	25	30	30	30	30	25	30	25	30	29.0	
	S	3000	秒	30	30	30	32	30	30	31	31	30	32	30.6	
			cc	20	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	19.5
3500	秒	27	27	27	26	27	27	26	27	26	27	26	26	26.6	
	cc	20	20	20	20	20	20	25	20	20	20	20	20	20.5	

めた場合（0 kg、3,000r.p.m.）については下げ荷、上げ荷でそれぞれギヤ位置を組合せた4通り、ギヤ位置及び回転数を決めた場合（1速、3,500r.p.m.）についてはそれぞれ積載重量を組合せた8通り、計12通りについて走行テストを行った。なお傾斜地での1回の走行距離は350mであり各組合せとも10回のくり返しを行った。延べ走

行距離数は42kmとなった。

なお燃料消費率については、エンジンに直結させた透明な容器（目盛は10cc刻み）を車体にとりつけ、これによって走行後に消費したガソリンの量をその都度5cc単位で読み取った。

表一 平均速度と燃料消費率との関係 —平地地走行—

平均速度 (km/h)	燃料消費率 (km/ℓ)	積載重量 (kg)	ギヤ位置	エンジンの平均回転数 (r.p.m)
3.6 (3.5~3.6)	2.1 (2.0~2.2)	0	L	3000
3.6 (3.5~3.7)	2.1 (2.0~2.2)	800		
3.6 (3.5~3.6)	2.1 (2.0~2.2)	1000		
3.6 (3.5~3.6)	1.8 (1.7~1.9)	1200		
4.2 (4.1~4.3)	2.1 (2.0~2.2)	0	L	3500
4.1 (4.0~4.2)	2.0 (1.9~2.0)	800		
4.1 (4.0~4.2)	2.1 (2.0~2.2)	1000		
4.1 (4.0~4.2)	1.7 (1.7~1.8)	1200		
5.9 (5.7~6.1)	3.2 (3.0~3.4)	0	S	3000
6.0 (5.8~6.2)	3.1 (2.9~3.3)	800		
5.8 (5.6~5.9)	3.1 (2.9~3.3)	1000		
5.9 (5.7~6.1)	2.6 (2.4~2.7)	1200		
6.9 (6.6~7.1)	3.1 (2.9~3.4)	0	S	3500
6.9 (6.6~7.2)	3.2 (3.0~3.5)	800		
6.9 (6.7~7.3)	3.0 (2.8~3.3)	1000		
6.8 (6.5~7.1)	2.4 (2.3~2.6)	1200		

() 内の数値は95%信頼区間

III. 結果と考察

1. 生材と乾燥材と重量差について

長さ2~4mのスギ、ヒノキの間伐材について太さと重さの関係を表わした結果が図-2である。なお各推定式のパラメーターは表-1に示した。これによると最も重いのがヒノキ4mの生丸太で、最も軽いのがスギ3mの乾燥した丸太であった。スギ丸太に例をとると4m及び3m材とも生の状態ではよく乾いた丸太の約2倍以上重くなっていることがわかる。さらによく乾いた3mのスギ丸太の場合は2mのスギやヒノキの生丸太よりも軽くなっている。また生の状態でのスギとヒノキを比較すると常にヒノキの方がスギよりやや重い。

表-6 積載重量と走行時間及び燃料消費量の関係 —下げ荷、傾斜地走行— その1

積載重量 (kg)	ギヤ位置	エンジンの平均回転数 (r.p.m.)	調査No	運搬区間の距離と平均勾配							計	燃料消費量
				0~50 m	50~100 m	100~150 m	150~200 m	200~250 m	250~300 m	300~350 m		
				9°	-5°	-4°(30 m) +5°(20 m)	+3°(40 m) -7°(10 m)	-9	±0	±0		
0	L	3,000	1	49 秒	47 秒	50 秒	49 秒	47 秒	52 秒	46 秒	340 秒	150 cc
			2	50	49	49	50	50	51	49	348	145
			3	48	50	50	49	50	52	48	347	150
			4	49	49	51	50	47	52	48	346	140
			5	50	49	50	50	47	52	48	346	140
			6	50	50	50	52	47	51	47	347	140
			7	50	50	50	50	48	51	48	347	140
			8	49	49	50	51	51	51	49	350	140
			9	52	50	51	50	50	50	50	353	150
			10	52	50	49	50	49	50	50	350	140
			平均	49.9	49.3	50.0	50.1	48.6	51.2	48.3	347.4	143.5
0	L	3,500	1	45	42	44	44	42	43	42	302	140
			2	44	43	42	44	42	42	43	300	135
			3	43	43	43	43	42	45	43	302	135
			4	43	44	42	42	42	44	41	298	140
			5	44	44	42	44	43	44	44	305	140
			6	43	44	44	43	43	45	42	304	140
			7	45	43	43	43	43	46	41	304	135
			8	45	43	42	44	42	46	42	304	140
			9	45	43	43	42	43	44	42	302	130
			10	45	42	43	45	43	45	42	305	140
			平均	44.2	43.1	42.8	43.4	42.5	44.4	42.2	302.6	137.5
800	L	3,500	1	44	43	43	47	41	50	47	315	150
			2	44	45	45	47	42	50	49	322	150
			3	44	44	45	47	43	49	47	319	150
			4	44	44	44	47	41	53	45	318	150
			5	44	44	44	48	42	51	46	319	155
			6	44	44	43	47	42	50	48	318	165
			7	45	45	44	48	42	50	49	323	155
			8	44	45	45	49	41	52	52	328	155
			9	44	44	44	48	40	50	45	315	150
			10	46	44	45	48	42	51	47	323	150
			平均	44.3	44.2	44.2	47.6	41.6	50.6	47.5	320.0	153.0

表一七 積載重量と走行時間及び燃料消費量の関係

一下げ荷、傾斜走行— その2

積載重量	ギヤー位置	エンジンの平均回転数	調査No.	運搬区間の距離と平均勾配								燃料消費量
				0~50 m	50~100 m	100~150 m	150~200 m	200~250 m	250~300 m	300~350 m	計	
				-9°	-5°	-4°(30 m) +5°(20 m)	+3°(40 m) -7°(10 m)	-9	±0	±0		
kg	L	r.p.m.		O-A間	A-B間	B-C間	C-D間	D-E間	E-F間	F-G間		
1,000	L	3,500	1	44 秒	43 秒	44 秒	45 秒	41 秒	47 秒	43 秒	307 秒	150cc
			2	44	45	44	45	42	49	44	313	145
			3	44	45	43	46	43	48	46	315	140
			4	44	45	44	45	42	48	44	312	140
			5	44	44	43	44	42	48	43	308	145
			6	45	45	43	46	43	48	45	315	145
			7	45	43	44	46	41	49	43	311	150
			8	43	44	45	46	41	48	43	310	145
			9	44	44	45	45	43	48	44	313	140
			10	45	44	44	45	42	48	43	311	140
平均	44.2	44.2	43.9	45.3	42.0	48.1	43.8	311.5	144.0			
1,200	L	3,500	1	45	43	46	47	41	48	43	313	150
			2	44	44	45	45	42	45	45	310	150
			3	45	46	44	46	41	47	43	312	140
			4	45	44	44	46	42	46	43	310	145
			5	45	43	46	44	43	46	44	311	145
			6	46	46	46	48	44	50	46	326	165
			7	47	44	45	48	41	50	48	323	170
			8	47	45	45	46	41	51	46	321	175
			9	46	45	45	47	43	50	46	322	165
			10	45	47	45	47	42	50	46	322	170
平均	45.5	44.7	45.1	46.4	42.0	48.3	45.0	317.0	157.5			
0	S	3,000	1	30	29	30	30	26	31	28	204	105
			2	31	29	30	31	29	31	30	211	90
			3	30	31	30	32	29	30	29	211	90
			4	31	29	31	31	29	30	34	215	90
			5	30	29	31	31	30	31	27	209	90
			6	30	29	30	29	28	32	28	206	100
			7	30	28	31	30	29	31	28	207	90
			8	30	30	29	31	29	31	30	210	85
			9	30	29	30	30	29	31	29	206	85
			10	30	28	31	31	29	31	29	209	85
平均	30.2	29.1	30.3	30.6	28.7	30.9	29.2	209.0	91.0			

ちなみに重い順から並べてみると、ヒノキ4m生材>スギ4m生材>ヒノキ3m生材>スギ3m生材>スギ4m乾燥材>ヒノキ2m生材>スギ2m生材>スギ3m乾燥材の順となる。

これまでの調査分析から、最もよく乾いて軽くなった3~4mスギ丸太の場合でも積み込みには平均15分前後(2人)を要する。しかしこの中に生丸太が混ざっている場合などでは、先の平均時間の倍以上かかることがたびたび観察された。これらのことから林内作業車による間伐材の搬出に際しては、材を伐倒後の生の状態からどれだけ乾燥させて軽くした状態にもってゆくかが、人力に多くを頼らざるを得ないこのような作業とりわけ

1サイクル時間に及ぼす影響の最も大きい「積載時間」を大きく短縮させる要因となるものと推察された。

2. 機械力による積載時間について

「積載時間」について、人力の場合と比較する意味でクレーンを用いた場合の調査結果が表一2である。これによると1車当りの積載本数には平均41本(39~43本)で人力による場合と変わりなかったが、積載時間は平均5.3分(3.6~7.0分)となり人力に比べ約1/3に短縮された。しかしこの場合でも、いろいろな太さや長さの丸太を混ぜて積み込んだ場合とそうでない場合とを比べると、前者では平均7.1分(6.4~7.8分)、後者では平均

表-8 積載重量と走行時間及び燃料消費量の関係
—上げ荷、傾斜地走行— その1

積載重量	ギヤー位置	エンジンの平均回転数	調査No.	運搬区間の距離と平均勾配							燃料消費量		
				0~50 m	50~100 m	100~150 m	150~200 m	200~250 m	250~300 m	300~350 m		計	
				± 0°	± 0°	+ 9°	+ 7°(10 m) - 3°(40 m)	- 5°(20 m) + 4°(30 m)	+ 5°	+ 9°			
0	L	3,000	r.p.m.	1	44 秒	48 秒	53 秒	49 秒	51 秒	49 秒	50 秒	344 秒	170cc
			2	48	49	52	50	50	51	50	350	170	
			3	46	48	53	50	49	51	50	347	170	
			4	47	49	53	49	50	51	51	350	170	
			5	45	49	55	49	50	51	51	350	180	
			6	45	50	51	51	51	51	51	350	170	
			7	45	53	52	49	50	51	52	352	170	
			8	46	51	53	51	52	51	54	358	180	
			9	45	51	55	49	51	51	51	353	175	
			10	48	51	54	49	50	50	51	353	170	
			平均	45.9	49.9	53.1	49.6	50.4	50.7	51.1	350.7	172.5	
0	L	3,500	1	39	42	46	42	43	43	44	299	155	
			2	40	42	45	42	43	42	43	297	160	
			3	40	42	46	43	43	44	44	302	155	
			4	39	42	45	44	43	44	43	300	160	
			5	40	42	46	43	44	44	44	303	160	
			6	40	42	45	44	44	43	43	301	150	
			7	40	42	46	43	44	45	48	303	165	
			8	40	42	46	44	42	45	44	303	155	
			9	40	42	45	43	43	43	44	300	155	
			10	39	40	45	43	43	44	44	298	160	
			平均	39.7	41.8	45.5	43.1	43.2	43.7	43.6	300.6	157.5	
800	L	3,500	1	44	46	50	46	46	47	46	325	205	
			2	45	46	51	46	45	47	46	325	210	
			3	46	49	52	47	46	47	46	333	210	
			4	46	49	49	46	45	47	46	328	210	
			5	47	47	52	46	46	47	47	332	210	
			6	46	50	50	46	46	48	48	334	220	
			7	45	48	51	46	44	47	47	328	225	
			8	45	48	50	46	45	48	47	329	210	
			9	47	48	54	46	45	48	48	336	210	
			10	46	47	53	46	45	47	46	330	210	
			平均	45.7	47.8	51.2	46.1	45.3	47.3	46.7	330.1	212.0	

4.4分(3.9~4.9分)と明らかに有意な違いがみられた。

このことは先に述べたように、この場合でも人の手に頼らなければならない作業部分が多くなればなる程、また作業の段取りが複雑になればなる程このような差が生まれてくるのではないかと、積み込み現場での作業状況を観察して感じた。

3. 積載重量と平均速度及び燃料消費率の関係について

各作業条件下における走行テストの結果を総括的にとりまとめたのが表-3である。さらに本表の平坦地走行の場合の平均速度と燃料消費率の関係について実測データを表-4にあらわし、これ

を表-5にまとめた。また傾斜地走行の場合についても同様に実測データを表-6から表-9に示し、これを表-10にまとめた。これらの実測データをもとに積載重量別に燃料消費率の平均値に差があるか否かの検定を行った。分散分析の結果は平坦地については表-11、傾斜地については表-12に示すとおりであった。

以上の結果に考察を加えてみると、およそ以下のことが言えよう。

1) 作業条件と平均速度について

ア：本機に荷を積んで勾配のある路面を走る場合は、予備的に行った走行テストの結果も含めてギヤー位置は1速(ロー)に保ち、回転数は

表一 9 積載重量と走行時間及び燃料消費量の関係
—上げ荷、傾斜地走行— その2

積載重量 kg	ギヤ位置	エンジンの平均回転数 r.p.m.	調査No.	運搬区間の距離と平均勾配							燃料消費量	
				0~50 m	50~100 m	100~150 m	160~200 m	200~250 m	250~300 m	300~350 m		計
				± 0°	± 0°	+ 9°	+ 7°(10 m) - 3°(40 m)	- 5°(20 m) + 4°(30 m)	+ 5°	+ 9°		
				E-F間	F-E間	E-D間	D-C間	C-B間	B-A間	A-O間		
1,000	L	3,500	1	44 秒	43 秒	47 秒	45 秒	43 秒	45 秒	44 秒	311 秒	200cc
			2	43	45	47	44	44	47	45	315	205
			3	43	44	48	44	44	44	45	312	205
			4	44	43	48	45	44	46	45	315	210
			5	44	43	49	44	44	45	46	315	205
			6	44	41	49	46	44	45	45	314	200
			7	44	43	48	45	43	45	46	315	205
			8	44	44	49	45	43	45	45	315	200
			9	44	43	47	44	43	47	45	313	200
			10	43	42	48	45	43	46	45	312	200
			平均	43.7	43.1	48.0	44.7	43.5	45.6	45.1	313.7	203.0
1,200	L	3,500	1	41	44	49	44	45	44	45	312	230
			2	42	44	49	45	47	43	47	317	220
			3	40	43	48	45	44	44	45	309	220
			4	41	44	50	44	45	45	45	314	210
			5	41	43	48	45	43	44	45	309	215
			6	51	46	52	46	47	48	46	338	250
			7	47	46	55	47	46	49	47	337	245
			8	46	44	56	45	46	49	49	335	255
			9	46	47	54	47	47	47	48	336	250
			10	51	46	53	47	45	49	47	338	260
			平均	44.6	44.9	51.4	46.5	45.5	46.2	46.4	324.5	235.5
0	S	3,000	1	28	28	32	30	31	31	31	211	110
			2	30	29	32	30	31	32	30	214	110
			3	28	30	32	30	32	31	31	214	110
			4	29	29	31	30	30	31	31	211	100
			5	28	29	33	30	30	31	30	211	105
			6	28	28	32	30	32	29	30	209	110
			7	27	28	32	30	30	30	31	208	110
			8	28	29	32	31	30	30	31	211	105
			9	27	29	32	29	30	31	29	207	115
			10	27	28	32	30	30	32	30	209	110
			平均	28.0	28.7	32.0	30.3	30.6	30.8	30.4	210.5	108.5

表一 10 平均速度と燃料消費率との関係 —傾斜地走行—

平均速度 (km/h)	燃料消費率 (km/l)	積載重量 (kg)	ギヤ位置	エンジンの平均回転数 (r.p.m.)	作業の条件
3.6 (3.6~3.7)	2.4 (2.3~2.5)	0	L	3000	⊖
4.2 (4.1~4.2)	2.5 (2.5~2.6)	0	L	3500	
3.9 (3.9~4.0)	2.4 (2.3~2.5)	800			
4.0 (4.0~4.1)	2.4 (2.4~2.5)	1000			
4.1 (4.0~4.1)	2.4 (2.3~2.5)	1200			
6.0 (6.0~6.1)	3.8 (3.8~4.0)	0	S	3000	⊕
3.6 (3.6~3.6)	2.0 (1.9~2.1)	0	L	3000	
4.2 (4.1~4.3)	2.2 (2.2~2.3)	0	L	3500	
3.8 (3.8~3.8)	1.7 (1.6~1.7)	800			
4.0 (4.0~4.1)	1.7 (1.7~1.8)	1000			
4.0 (4.0~4.1)	1.6 (1.6~1.6)	1200			
6.0 (5.9~6.1)	3.2 (3.1~3.3)	0	S	3000	

(注) 1. () 内の数値は95多倍積区間。
2. L: 1速(ローギヤ) S: 2速(セカンドギヤ)
⊕: 上げ荷 ⊖: 下げ荷

表—11 積載重量と燃料消費率との関係（分散分析及び母平均の差の検定）

—平地地走行—

条件	要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	F (0.05)	F (0.01)	各水準の母平均の差の検定																																											
L—3000	積載重量間 (級間)	0.76	3	0.25	5.74	2.87	4.38	<table border="1"> <tr> <td>12(1200)</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td rowspan="4">* 5%有意 ** 1%有意</td> </tr> <tr> <td>10(1000)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>8(800)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>0(0)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td></td> </tr> </table>	12(1200)	**	**	**	**				* 5%有意 ** 1%有意	10(1000)	—	—	—	—	—	—	8(800)	—	—	—	—	—	—	—	0(0)	—	—	—	—	—	—	—							0	8	10	12	
	12(1200)	**	**	**	**					* 5%有意 ** 1%有意																																									
	10(1000)	—	—	—	—	—	—																																												
8(800)	—	—	—	—	—	—	—																																												
0(0)	—	—	—	—	—	—	—																																												
						0	8	10	12																																										
残差 (級内)	1.59	36	0.04																																																
計	2.35	39																																																	
L—3500	積載重量間 (級間)	1.10	3	0.37	7.17	2.87	4.38	<table border="1"> <tr> <td>12</td> <td>**</td> <td>*</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> </table>	12	**	*	**	**				10	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—							0	8	10	12		
	12	**	*	**	**																																														
	10	—	—	—	—	—	—																																												
8	—	—	—	—	—	—	—																																												
0	—	—	—	—	—	—	—																																												
						0	8	10	12																																										
残差 (級内)	1.84	36	0.05																																																
計	2.94	39																																																	
S—3000	積載重量間 (級間)	2.83	3	0.94	9.84	2.87	4.38	<table border="1"> <tr> <td>12</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> </table>	12	**	**	**	**				10	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—							0	8	10	12		
	12	**	**	**	**																																														
	10	—	—	—	—	—	—																																												
8	—	—	—	—	—	—	—																																												
0	—	—	—	—	—	—	—																																												
						0	8	10	12																																										
残差 (級内)	3.44	36	0.10																																																
計	6.27	39																																																	
S—3500	積載重量間 (級間)	3.96	3	1.32	14.01	2.87	4.38	<table border="1"> <tr> <td>12</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> </tr> </table>	12	**	**	**	**				10	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—							0	8	10	12		
	12	**	**	**	**																																														
	10	—	—	—	—	—	—																																												
8	—	—	—	—	—	—	—																																												
0	—	—	—	—	—	—	—																																												
						0	8	10	12																																										
残差 (級内)	3.39	36	0.09																																																
計	7.35	39																																																	

表—12 積載重量と燃料消費率との関係（分散分析及び母平均の差の検定）

—傾斜地走行—

条件	要因	変動	自由度	不偏分散	分散比	F (0.05)	F (0.01)	各水準の母平均の差の検定																																																			
下げ荷 L—3500	積載重量間 (級間)	0.76	4	0.19	23.06	2.64	3.91	<table border="1"> <tr> <td>雨12(1200)</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="5">* 5%有意 ** 1%有意</td> </tr> <tr> <td>12(1200)</td> <td>**</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>10(1000)</td> <td>**</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>8(800)</td> <td>**</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>0(0)</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>雨</td> </tr> </table>	雨12(1200)	**	**	**	**	**			* 5%有意 ** 1%有意	12(1200)	**	—	—	—	—	—	10(1000)	**	—	—	—	—	—	—	8(800)	**	—	—	—	—	—	—	0(0)	—	—	—	—	—	—	—							0	8	10	12	雨
	雨12(1200)	**	**	**	**	**				* 5%有意 ** 1%有意																																																	
	12(1200)	**	—	—	—	—	—																																																				
10(1000)	**	—	—	—	—	—	—																																																				
8(800)	**	—	—	—	—	—	—																																																				
0(0)	—	—	—	—	—	—	—																																																				
						0	8	10	12	雨																																																	
残差 (級内)	0.29	35	0.01																																																								
計	1.05	39																																																									
上げ荷 L—3500	積載重量間 (級間)	3.09	4	0.77	370.35	2.64	3.91	<table border="1"> <tr> <td>雨12</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>12</td> <td>**</td> <td>*</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>**</td> <td>**</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>**</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>雨</td> </tr> </table>	雨12	**	**	**	**	**			12	**	*	**	**			10	**	**	**				8	**						0													0	8	10	12	雨				
	雨12	**	**	**	**	**																																																					
	12	**	*	**	**																																																						
10	**	**	**																																																								
8	**																																																										
0																																																											
						0	8	10	12	雨																																																	
残差 (級内)	0.07	35	0.002																																																								
計	3.16	39																																																									

3,500r.p.m.前後とするのが最も走行し易いように思われる。この理由としては2速（セカンド）—3,000r.p.m.に保った場合は場所によってはエンストを起こし、3,500r.p.m.では所によっては運転者がやや危険を感じることもあったことがあげられる。これらの理由から、本走行から2速—3,000r.p.m.及び2速—3,500r.p.m.における積載時データは除いた。

イ ギヤーの位置と回転数が決まれば、積載重量や勾配等が変っても平均速度は決まってくる。

ウ 回転数を決めると、ギヤーの位置を変えることによって当然平均速度は変わってくるが、この場合2速は1速のおよそ1.6~1.7倍速くなる。

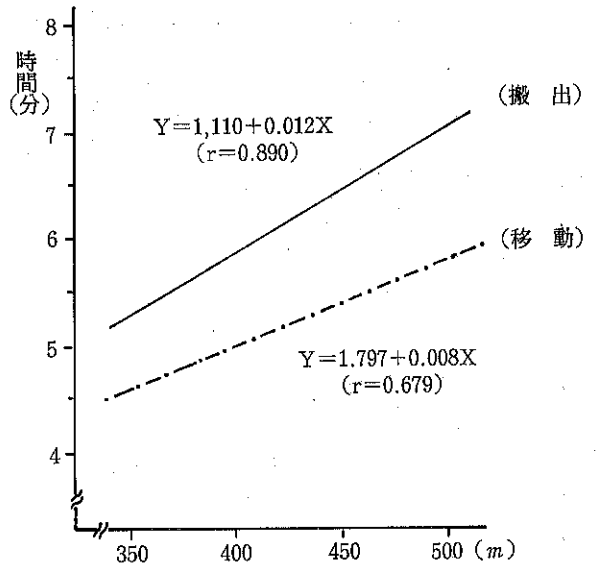
エ 作業現場のような傾斜地で荷を積んで走行する場合は、諸条件に差があっても平均速度で3.6~4.0km/h前後が限度と思われる。

オ これ以上で走行できる現場は、走行場所が平坦地であるなど安全が保障される場所か、あるいはこのような所を空荷走行（搬機の移動時）する場合に限られる。

カ これらのことから本機の平均速度の実用上の範囲は3.5~7.3km/hあたりと考えられた。

キ 今回の走行テストから得られたギヤー位置と回転数の組合せから算定された本機の平均速度を、我々が日常行っている歩行動作を1つの目安として対比してみると、およそS—3,500（小走り）>S—3,000（早足）>L—3,500（ゆっくり）>L—3,000（かなりゆっくり）と表現することができた。（但し、S：2速、L：1速、回転数はr.p.m.）

図—3は諸条件が良好な現場のデータをもとに求めた推定式を図示したものであるが、今仮に本式のXの値（搬出距離）に350（m）を代入し、積載時（搬出）の平均速度を求めると約4 km/hと算定される。この数値を今回行った走行テストの結果に照らしてみると、この現場ではL—3,500



図—3 搬出距離と搬出時間ならびに移動時間との関係

で間伐材が搬出されていたものと思われる。一方、空荷走行（移動）の場合も同様にして求めると平均速度は約4.6km/hとなった。積載時より空荷の場合の方が速いのは、空荷時は走行場所がよくないとギヤーの位置をLからSに変えることが多いと思われる。この際はおそらくL—3,000かS—3,500を場所により使いわけていたものと考えられた。なお、これらの推察はいずれも今回走行テストを行って見た実感とよく一致していた。

さて以上述べてきたことを総合して、こうした試験結果を現地に応用できると思われる例について述べてみたい。山での作業は試験地のようなわけにはいかず、路盤の状態もかなり複雑で、加えて天候などの影響からその時々で臨機応変に対処してゆかなければならないのが実状である。こうした場合、どの程度の速さで間伐材を運べば危険を伴わず搬機を操作できるのか否かの判断は、公式論では表すことはできない。このような時は、先の歩行動作と平均速度の関係がこうした現場で応用できるものとする。そしてこれをもとに、およそ1サイクル時間をつかんだり、後に述べる燃料消費率を逆算することも可能であろう。

2) 燃料消費率について

ア 本機の間伐材を積んだ場合の燃料消費率は、通常のL-3,500r.p.m.で走行した場合で平坦地では約1.7~2.2km/ℓ、傾斜地においては下げ荷の場合と上げ荷の場合を含めて約1.4~2.5km/ℓとなった。後者の燃料消費率の上限が高いのは、下げ荷の場合は所定の回転数を維持するのにアクセルを絞ったからと思われる。

イ L-3,000r.p.m.の走行は平坦地の場合や傾斜地でも空荷走行の場合は可能であるが、この回転数を維持して積載時に走行した場合、場所によってはエンストを起こす結果となった。なお平坦地あるいは傾斜地でのこの場合の値は前者で約1.7~2.2km/ℓ、後者で約1.9~2.5km/ℓとなった。

ウ 燃料消費率の上限をみるために、ギヤー位置を2速(セカンド)にして走行テストを行った結果、平坦地において空荷状態で回転数を3,000r.p.m.とした場合は約3.0~3.4km/ℓ、3,500r.p.m.では約2.9~3.4km/ℓとなった。一方傾斜地においては3,000r.p.m.で3.8~4.0km/ℓとなった。なお傾斜地での3,500r.p.m.の走行ではやや危険を感じる速さとなった。

エ 燃料消費率を積載重量との関係からみると、平坦地においてギヤーの位置と回転数が同じ条件の場合は空荷時から1,000kg積載時までの間には燃料消費率に差はみられなかった。しかし本機の最大積載量である1,200kgになると明らかに燃料消費率に有意差が認められた。この場合前者に比べ1ℓ当りの走行距離は約15~20%ダウンする。

オ 次いで作業現場のように傾斜地を走行する場合についてみると、下げ荷の条件下では、空荷と雨天後の1,200kg走行の場合を除き800kg~1,200kgまでの間には燃料消費率に差は認められなかった。なお空荷の場合には、1ℓ当りの走行距離に差の出なかった800kg、1,000kg、1,200kgの平均に比べ約30%以上伸びた反面、雨後に計測

した1,200kg積載の場合には約20%ダウンした。これらのことは平坦地走行の結果と矛盾するが、その理由としては傾斜地では平坦地に比べ回転数を制御するアクセルの操作にバラツキが出ることと併せて、今回の試験地でも全体的には下り勾配であっても部分的には起伏が多く、荷を積んだ場合は空荷に比べどうしてもふかし過ぎになることも重なってこのような結果になったと思われる。雨後の結果については、滑り易い平坦地の走行部分が多かったことと先に述べた原因も加わって空荷時と反対の結果になったと思われる。一方、上げ荷の条件下で走行する場合は表-10の燃料消費率の数値からは積載時の差はないように見える。しかし、実測値を分散分析した表-12をみると積載重量間と燃料消費率の間には互いに大きな有意差が認められた。この原因も上に述べたと同様アクセル操作のバラツキが大きな原因と考えられた。

なお、オイルの消費量についてもみたが、その量が僅かで計量するに至らなかった。

IV. まとめ

これまでに行ってきた林内作業車(デルピスD P-100)による間伐材の搬出作業について、調査分析した結果からおおよそ以下のことが言えよう。

1 500m前後の距離で諸条件が良好で下り勾配の場合、1サイクル時間は約45分、1日8往復前後(実働6時間として)、1車当りの積載本数約40本、1車当りの積載材積は約1.2m³である。

2 1サイクル時間の長短は主に間伐材を搬機に積み終えるまでの時間つまり「積載時間」によって大きく影響をうける(人力による場合)。

3 このため作業能率を上げるには、いかにしてこの「積載時間」を短縮させるかにかかっている。

4 この方法として考えられることは、予め間伐計画をたて、なるべく早い時期に材を伐倒、玉切りしておき、よく乾燥し軽くしてから搬出する

のがまず第1であろう。また場所によってはクレーン等の使用も効果があがる。

5 この様な材を山土場に集積しておく場合まず整然と積みしておくと、とくに検尺を要する場合などは末口なら末口を揃えておかなければならない。

6 こうした集積場所は搬機の荷台の高さを考えた場所にする事や、この場所が平坦地であることが望ましい。このことは搬機の荷の積み降ろしに傾斜地では操作に手間どるためである。

7 林道わきなど荷降ろし場所は、間伐材の搬出量との関係でよく検討して選び、作業の途中からあれこれ荷降ろし場所を考えるような段取りのまずさは作業能率に少なからず影響を与える。

8 いろいろ条件が異なる現場において、間伐材を積んだ場合どれくらいの速さで走るのが安全であるかの目安の1つとして、歩行速度が挙げられる。

9 荷を積んだ場合、我々がやや遅く歩く速さ程度で搬機を運転するのが安全と考えられる。

10 この場合搬機の平均速度は4 km/h前後であり、この際の燃料消費率は下げ荷状態で約2.4km/lである。

11 これらのことについて留意したり、現場で検討しながらそれぞれにあった最良の手段をとることが結果として合理的な作業方法につながっていくものと考えられる。