

林業機械作業における作業者の 生理負担に関する研究 (3)

—下刈作業について—

山本 俊明・瀧本 義彦*・石川 知明**

On the study of physiological load of worker
while working forest machine. (3)

— By weeding work —

Toshiaki YAMAMOTO, Yoshihiko TAKIMOTO*,
and Tomoaki ISHIKAWA**

要 旨

本報告は、下刈作業において鎌による手作業の場合と下刈機械による機械作業の場合についての作業工程と、作業者の作業中の生理負担を調査したものである。

調査を行った場所は、本学芦生演習林内の杉及び広葉樹の植栽後 10～15 年たった人工林である。作業者は、演習林造林班の職員 3 名で、手作業と機械作業の場合の作業工程と、作業者の作業中の心拍数、およびエネルギー消費量を測定した。

結果、下刈作業に影響を与える要因として、作業能率では、作業者の経験が、エネルギー消費量では傾斜と交互作用（傾斜と作業者の経験）が有意となった。

作業工程については、機械作業の方が手作業の場合より能率がよかった。

作業者の作業中の生理負担については、機械作業による場合作業中の心拍数は、94 拍/分～154 拍/分の範囲で平均、130.3 拍/分、体重 1 kg 当り毎分のエネルギー消費量は 81.09 cal/kg/分～170.2 cal/kg/分、平均、134.55 cal/kg/分、エネルギー代謝率 (R. M. R) は 3.8～7.9 平均 6.31 であった。

手作業の場合、作業中の心拍数は、104 拍/分～161 拍/分、平均 130.4 拍/分、体重 1 kg 当り毎分のエネルギー消費量、96.39 cal/kg/分～182.47 cal/kg/分、平均 133.19 cal/kg/分、エネルギー代謝率 (R. M. R)、4.3～8.6 平均 6.28 であった。

そして、エネルギー代謝率による労働区分は、機械作業。手作業共に強労働から激労働の範囲にあると推定できる。

* 島根大学農学部 ** 滋賀県森林センター

はじめに

筆者らは、昭和59年より、林業機械作業の作業工程と作業者の生理負担に関する研究の一環として、森林作業において使用されている機械について、作業者の生理負担を心拍数測定により評価する手法を使って、枝打ち作業について調査し、報告^{1,2,3,4,5)}してきた。

今回は、下刈作業について調査する機会を得たので、同じ手法により手作業（鎌を使用）と機械作業（下刈機を使用）の場合の作業工程、作業者の生理負担について報告する。

調査方法

1) 調査地の概要とその位置

調査地は、京都府北桑田郡美山町字芦生にある京都大学農学部附属芦生演習林5林班（A）、4林班（B）、14林班（C）の3ヶ所の人工植栽地で、いずれも植栽後10～15年たっている林である。

その詳細については、図-1、表-1に示すとおりである。

今回は、使用する道具の違いと、作業する場所による違いを傾斜で抑えるために、傾斜0度、30度と40度の箇所を選んだ。

調査時期は、昭和63年7月19日～22日までの4日間、作業者は、芦生演習林造林班の職員3名で手鎌による手作業と下刈機による機械作業について、作業工程と作業者の作業中の生理負担について調査を行った。

作業者の作業中の生理負担の評価については、前回と同様作業者にハートメモリーをセットし、作業者の作業中の心拍数を踏台昇降運動（ステップテスト）の物理的仕事量に換算し、同時に、各作業者についてステップテスト中の呼気分析を行いその呼気分析結果から作業者一人ずつのエネルギー消費量を算出し心拍数との換算式を求めた。そして、求めた換算式により作業者の作業中のエネルギー消費量を推定し作業者の生理負担とした。

作業者の詳細及びステップテスト時の心拍数とエネルギー消費量については、表-2、図-2.3.4に示すとおりである。



図1 調査地の位置

表1 調査地の概要

調査地	植栽木	傾斜	主な植生	植生の比率
A	スギ	40°	リョウブ	15%
			キイチゴ	15%
			マンサク	10%
			エゾユズリハ	10%
			アセビ	10%
			ササ	10%
その他	30%			
B	スギ	30°	キイチゴ	15%
			リョウブ	10%
			サワフタギ	5%
			ミズメ	5%
			その他	65%
C	広葉樹	0°	ススキ	70%
			カヤツリクサ	10%
			その他	20%

表2 作業者のデータとステップテスト結果

作業者	T	N	O
年齢	22	41	41
身長 (cm)	169.0	158.8	170.0
体重 (kg)	53.0	55.5	75.0
森林作業の経験	2年	20年	15年
下刈作業時の道具			
手鎌: 下刈機	0:10	5:5	0:10

内容	作業者					
	T		N		O	
	心拍数	エネルギー消費量	心拍数	エネルギー消費量	心拍数	エネルギー消費量
安静状態横たわる	64	22.71	53	20.65	77	19.67
安静状態椅子に座る	77	25.27	58	19.88	75	17.10
安静状態立位	82	25.00	59	21.30	87	18.52
昇降試験 5回/分	87	53.75	74	51.33	97	47.84
昇降試験 10回/分	95	79.91	90	75.88	108	70.67
昇降試験 15回/分	115	108.70	102	103.76	126	93.19
昇降試験 20回/分	134	138.29	124	131.57	143	114.47
昇降試験 25回/分	157	168.87	148	163.44	164	143.20
昇降試験 30回/分	173	204.17	178	203.17	186	169.56

作業者	回帰式	
T	$Y = 1.7538X - 99.89$	$R^2 \text{ 乗} = 0.9768$
N	$Y = 1.5294X - 62.67$	$R^2 \text{ 乗} = 0.9930$
O	$Y = 1.4301X - 91.77$	$R^2 \text{ 乗} = 0.9877$

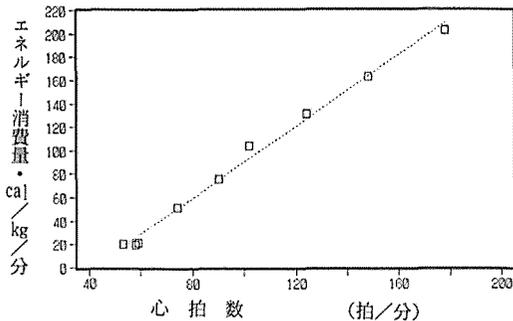


図2 作業者Nの測定値と回帰式
 $Y = 1.5294X - 62.67$ (R^2 乗 = 0.9930)

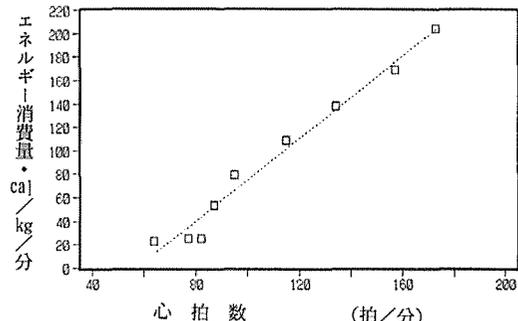


図3 作業者Tの測定値と回帰式
 $Y = 1.7538X - 99.89$ (R^2 乗 = 0.9768)

なお、エネルギー消費量を求める意義は、個々の被験者の体力の違い、体重の違い、身長の違いによる影響を受けずに比較できる値が得られるものとする。

結果と考察

表-3は、作業者N、Tの2名について手作業・機械作業・傾斜別の下刈面積、時間、能率（毎分当りの下刈面積）、心拍数（拍/分）、エネルギー消費量（cal/kg/分）及びエネルギー代謝率（R.M.R.）を示したものである。（作業者Oについては、調査中病気となりデータが不安定なため除外した）

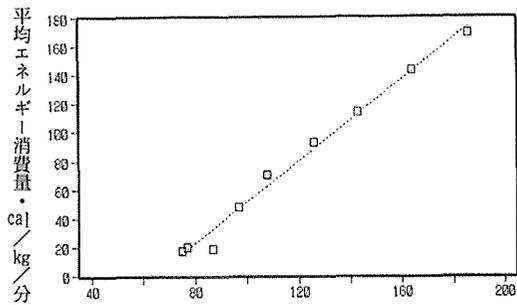


図4 作業者Oの測定値と回帰式
 $Y = 1.4301X - 91.77$ (R^2 乗 = 0.9877)

1) 下刈作業に影響する要因の分析

下刈作業に影響する要因を抑えるために、表-3の調査結果について、分散分析を行った。今表3 作業工程と作業中の心拍数、エネルギー消費量およびエネルギー代謝率（R.M.R.）

調査地	傾斜	作業者	道具	下刈面積 (平方米)	作業時間 (分)	能率 (平方米/分)	心拍数 (拍/分)	エネルギー消費量 (cal/kg/分)	エネルギー代謝率 (R.M.R.)	
A	40度	N	下刈機	1417.8	235.6	6.0	114	111.69	5.7	
			T	下刈機	552.8	163.1	3.4	146	156.16	7.1
		T	N	手鎌	537.0	135.7	4.0	104	96.39	4.7
			T	手鎌	243.2	88.2	2.8	116	103.55	4.3
B	30度	N	下刈機	711.5	149.8	4.8	133	140.74	7.4	
			T	下刈機	548.6	103.9	5.3	154	170.20	7.9
		T	N	手鎌	572.3	178.8	3.2	130	136.15	7.1
			T	手鎌	264.6	144.8	1.8	141	147.40	6.7
C	0度	N	下刈機	596.0	78.8	7.6	94	81.09	3.8	
			T	下刈機	485.1	59.9	8.1	141	147.40	6.7
		T	N	手鎌	431.7	122.9	3.5			
			T	手鎌	653.5	136.0	4.8	161	182.47	8.6

回の要因として、作業場所の傾斜、使用する道具、作業者の差（経験年数の差）を選んだ。その結果は、表-4の通りである。この評価から判るように作業能率では、作業者の経験が、エネルギー消費量では傾斜と交互作用（傾斜と作業者の経験）が有意となった。次に作業能率と心拍数とエネルギー消費量の結果について、それぞれ考察する。

表4 分散分析の結果

要因	自由度	作業能率のF値	エネルギー消費量のF値
A (傾斜)	2	2.94	* * 8.11
B (道具)	1	3.19	0.65
C (作業者)	1	* 5.44	0.42
A×B	2	0.85	2.46
A×C	2	1.40	* 5.18
B×C	1	2.23	2.30
誤差	2		
合計	11		

注) * は危険率5%で、* * は危険率1%で有意

2) 下刈作業の工期について

作業者別の手作業の場合と機械作業の場合についてみると、作業能率については、1分当りの刈払面積で比較すると、作業者N、機械作業の場合4.8 m²/分～7.6 m²/分、平均6.1 m²、手作業3.2 m²/分～4.0 m²/分、平均3.6 m²/分、作業者T、機械作業の場合3.4 m²/分～8.1 m²/分、平均5.6 m²/分、手作業1.8 m²/分～4.8 m²/分、平均3.1 m²/分と地形、傾斜による差についてははっきりした傾向はみられなかったが、明かに、作業者Nの方が作業者Tより能率がよいという結果であった。これは、作業者の経験年数の違いによるものと考えられる。また、機械作業と手作業の間では、機械作業の方が能率がよいという結果であった。

3) 下刈作業の作業者の生理負担について

作業者(N、T)2名の機械作業、手作業、傾斜(0°.30°.40°)別の作業中の心拍数(拍/分)は、作業者N、機械作業の場合94拍/分～133拍/分、平均113.7拍/分、手作業の場合104拍/分～130拍/分、平均117拍/分、作業者T、機械作業の場合141拍/分～154拍/分、平均147拍/分、手作業の場合116拍/分～161拍/分、平均139.3拍/分であった。手作業と機械作業の間では、作業者Nについてはほとんど差はみられないが、若干機械作業の方が低い値を示している。

一方、作業者Tについては、逆に機械作業の方が高い値を示している。また、作業者N、Tの間では、機械作業、手作業とも作業者Tの方が高い値であった。これは、工期の場合と同様に作業者の経験年数の違いが影響していると考えられる。また、傾斜間については、心拍数では、はっきりした傾向はみられなかった。

図-5.6は、作業者Nの作業地B(傾斜30°)における手作業、機械作業による場合の作業中の心拍数の推移を示した図である。両作業とも多少の違いはみられるが、作業開始と共に上昇しある程度作業したのち休憩時に心拍数は低下し、また、作業開始と共に上昇するといった傾向をしている。

つぎに、作業者のエネルギー消費量については、作業者Nの場合、機械作業81.09 cal/kg/分～140.74 cal/kg/分、平均111.17 cal/kg/分、手作業96.39 cal/kg/分～136.15 cal/kg/分、平均116.27 cal/kg/分、作業者Tの場合、機械作業147.4 cal/kg/分～170.2 cal/kg/分、平均157.92 cal/kg/分、手作業103.00 cal/kg/分～182.47 cal/kg/分、平均144.47 cal/kg/分と心拍数の場合と同じような傾向がみられた。

しかし、傾斜との関係は図-7から判るように、傾斜が大きくなるとエネルギー消費量が大き

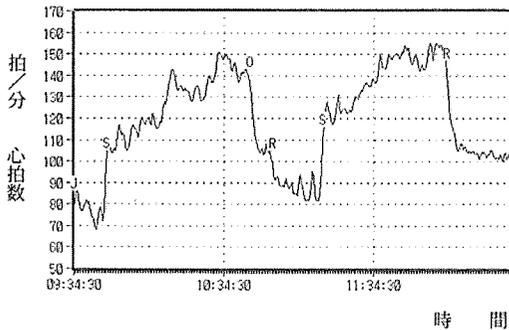


図5 作業者N作業時心拍数の推移
(調査地B 機械作業)

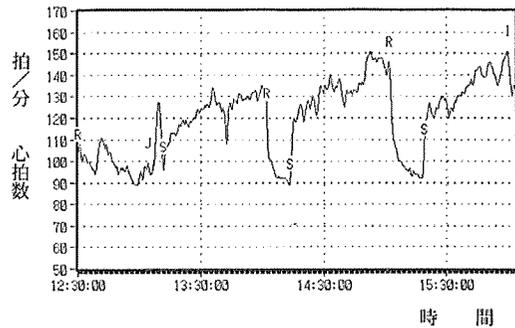


図6 作業者N作業時心拍数の推移
(調査地B 手作業)

くなるという関係ではなく、今回の調査では、30度の傾斜の調査地がエネルギー消費量が一番大きく、40度の傾斜の調査地が一番小さかった。このことは、傾斜以外にも、樹木があるとか、切株があると云うような因子にも影響を受けたためと思われる。

4) 作業者の作業中のエネルギー代謝率 (R. M. R) について、

作業者の作業中の生理負担を推定する方法として、前回までは、単位時間当りのエネルギー消費量で表してきた。今回は、作業者の身長と体重をもとに藤本⁹⁾らの式を用いて体表面積を求め、昭和44年改定による体表面積当りの基礎代謝基準値⁷⁾により基礎代謝を計算し、今回のステップテストの座位の場合の実測値を安静時のエネルギー消費量として、次式によりエネルギー代謝率 (R. M. R) を算出し生理負担の度合とした。

$$R. M. R = \frac{(\text{作業中エネルギー消費量}) - (\text{安静時エネルギー消費量})}{\text{基礎代謝量}}$$

結果は、表-3の右端に示すとおりである。

作業者Nの場合機械作業3.8～7.4、平均5.6、手作業4.7～7.1、平均5.9、作業者Tの場合機械作業6.7～7.9、平均7.2、手作業4.3～8.6、平均6.5と心拍数と同じ様な傾向がみられた。このエネルギー代謝率 (R. M. R) をもとに下刈作業の労働強度を推定してみると、機械作業、手作業いずれの場合も強労働から激労働の範囲に属するという結果であった。

む す び

以上、下刈作業に於て、機械作業の場合、手作業の場合における作業工程と、作業者の作業中の心拍数及びエネルギー消費量による作業者の生理負担について述べてきた。

まず、下刈作業に影響を与える要因として、作業場所の傾斜、道具、作業者の経験について分散分析を行った結果、作業能率では、作業者の経験が、エネルギー消費量では、傾斜と交互作用

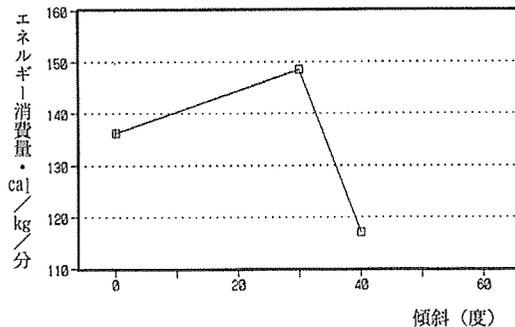


図7 傾斜とエネルギー消費量

(傾斜と作業者の経験)が有意となった。

下刈作業の工期については、機械作業の方が手作業の場合より能率がよいという結果であったが、地形、傾斜による差については、はっきりした傾向はみられなかった。つぎに、作業中の生理負担については、作業者の経験と傾斜については傾向がみられたが、道具による差は、はっきり判らなかつた。

作業者の作業中の心拍数は、機械作業の場合、94 拍/分～154 拍/分、平均 130.3 拍/分、手作業の場合、104 拍/分～161 拍/分、平均 130.4 拍/分であった。

エネルギー消費量は、機械作業の場合 81.09 cal/kg/分～170.20 cal/kg/分、平均 134.55 cal/kg/分、手作業の場合 96.39 cal/kg/分～182.47 cal/kg/分、平均 133.19 cal/kg/分、エネルギー代謝率 (R. M. R) は、機械作業の場合 3.8～7.9、平均 6.31、手作業の場合 4.3～8.6、平均 6.28 で労働強度の区分としては、両作業とも強労働から激労働の範囲に属している。

今回の調査では、作業者 1 名が病気となり十分分析することが出来なくなった。今後は、色々な条件下での下刈作業時のデータ数を取りより詳しく分析を行う必要がある。

最後に、本調査を行うに当り協力して下さった本学芦生演習林造林班の各位、京都大学農学部林業工学研究室の諸兄、高知大学農学部院生林氏、また、呼気分析を行って下さった京都府立大学生生活科学部松原周信助教授に対して深く感謝の意を表します。

なお、本研究の一部は、第 100 回日本林学大会で発表したものである。

引用文献

- 1) 山本俊明他：林業機械作業における作業者の生理負担に関する研究 (1). 京大演報. 57. 247—257, 1986
- 2) 瀧本義彦他：枝打ち機械の作業工期について (2). 京大演報. 58. 175—181, 1986
- 3) 山本俊明他：林業機械作業における作業者の生理負担に関する研究 (2). 京大報. 58. 182—193, 1986
- 4) 瀧本義彦他：枝打ち機械の作業工期について (3). 京大演報. 59. 196—206, 1987
- 5) 山本俊明他：枝打ち機械の作業工期について (4). 京大演報. 60. 208—218, 1988
- 6) 藤本薫喜他：日本人の体表面積に関する研究. 第 18 篇三期にまとめた算出式. 日衛誌 23. 443—450, 1968
- 7) 厚生省保健医療局健康増進栄養課：第三次改定日本人の栄養所要量. p 29. 第一出版, 1984

Résumé

We studied the operational efficiency physiological load of worker during weeding by using two different tools (sickle and brush cutter) in three different sites (e. i. inclination angle are 0, 30, and 40 degree). 2 workers weeded about 7000 square meter of planted forest at Kyoto University Forest in Ashu for 4 days.

We estimated the physiological load from heart rate by using H. R. Memory during work. First, we checked the relationships between heart rate and O₂ uptake and energy expenditure simultanueously applying step test on each subjects, and next we calculated the physiological load during work in the Energy metabolism (cal/kg/min) and Relative Metabolic Rate (R. M. R) using these relationships.

Result :

Physiological load was follows; in the case of using sickle, average heart rate of worker N is 117 beats/min, Energy metabolism is 116.27 cal/kg/min and R. M. R is 3.

9, and average heart of worker T is 139 beats/min, average Energy metabolism is 144.47 cal/kg/min and R.M.R is 6.5. In the case of using brush cutter, average heart rate of worker N is 114 beats/min, Energy metabolism is 111.17 cal/kg/min and R.M.R is 5.6, and average heart rate of worker T is 147 beats/min, average Energy metabolism is 157.92 cal/kg/min and R.M.R is 7.2 (see Table 3).

After we calculated about operational efficiency and energy metabolism by using analysis of variance, operational efficiency was significant about worker, and energy metabolism was significant about inclination angle (see Table 4).