

林業機械作業における作業者の 生理負担に関する研究

—枝打ち作業について—

山本 俊明・瀧本 義彦・寺川 仁
山田 容三・藤井 禧雄・佐々木 功

On the study of physiological load of worker while working with forest machine
—In the case of pruning operations—

Toshiaki YAMAMOTO, Yoshihiko TAKIMOTO, Hitoshi TERAKAWA,
Youzou YAMADA, Yoshio FUJII and Isao SASAKI

要 旨

本研究は林業機械作業における作業者の生理負担に関する研究の一環として最近特に機械化が進んでいる枝打ち作業について作業者の作業中の生理負担について調査したものである。

調査を行なった場所は京都大学農学部付属和歌山演習林内、11林班ヒノキ人工林、7林班スギ人工林である。作業者は演習林職員1名、作業員2名の計3名で、枝打ち機械による作業とナタとハンゴによる手作業について作業中の心拍数を心拍メモリ装置を使って測定し生理負担を推定した。この他、1時間当りの枝打ち本数についても調査した。作業者の作業中の生理負担の推定は、各作業者の作業中の心拍数を踏み台昇降運動（ステップテスト）の物理仕事量に換算し、しかる後次式によりエネルギー代謝量（Kcal/分）を推定した。

エネルギー代謝量（Kcal/分） $=0.0163 \times \text{体重（Kg）} \times \text{台高（m）} \times \text{昇降回数（回/分）} + \text{安静時エネルギー代謝量（Kcal/分）}$

結果、作業中平均心拍数と1時間当りの枝打ち本数は、手作業の場合ヒノキで77.2～115.3拍/分、15.6～27.9本/時、スギで92.0～111.0拍/分、11.3～18.1本/時、機械作業の場合、ヒノキで81.2～122.5拍/分、13.6～15.4本/時、スギの場合、77.6～112.8拍/分、9.6～12.8本/時、の範囲であった。

作業中の生理負担については、はっきりした傾向はみられないが、6.0 Kcal/分～7.0 Kcal/分の間であると推定出来る。

1. はじめに

森林を造成する場合、伐木・造材・集運材作業、地ごしらえ・植え付け・下刈作業および除伐・間伐・枝打ち作業等多くの作業が行われる。これらの作業の一つが欠けても森林の造成は非常に困難であり作業を完全に遂行するためには、かなりの労働力と経費が必要である。又、同時に

これらの作業は労働強度、労働量ともに大きい。

近年、農山村においては、労働力の流出がはげしく、労働力不足のため手入れのおくれた森林が増大する傾向にある。今後の林業労働者の不足を考えた場合、保育作業を始めとする各種森林作業においては、よりよい機械の導入による合理化が必要となってくる。しかし、森林作業に機械を導入することにより労働生産性の面から作業能率は高度に増大する。反面、使用される機械類によって作業者は振動障害、腰痛等の健康障害を受けており、作業工程への影響も大きく、その対策が望まれている。そこで筆者らは、実際に作業に従事している作業者の労働量を生理的に適切に評量し、森林作業における労働科学的に見た作業法・作業動作・労働量・工程を見出そうとするものである。

本調査報告は、最近特に機械化が進んできている枝打ち作業について、調査する機会が得られたので、その調査結果、特に作業者の生理負担を主にまとめたものである。なお、作業工程については、本演報の竹内他「自登式枝打ち機械の作業工程について」で報告されている。

2. 調査方法

1) 作業者の生理負担の測定装置について

作業者の作業中の生理負担を測定する方法として、従来までは、フリッカー・タッピング・自覚症状調査・動作分析等疲労判定方法、あるいは、医用テレメーター等により行われてきた。近年、林業の分野にも測定装置の ME 化が急速に進み、マイクロコンピューターと連動したデータ処理機能を持った機器が開発され、より簡単に精度の高い結果が得られるようになった。本調査においては、これらの一つである心拍メモリー装置を生理負担の測定に使用した。この装置は、図-1、写真-1、2 に示すように、胸部誘導による心拍メモリー装置で作業者に携帯させ長時間無拘束で心拍数を検出し記憶する装置で、とくに測定場所による制限もなく広範囲に屋外での使用が可能である。

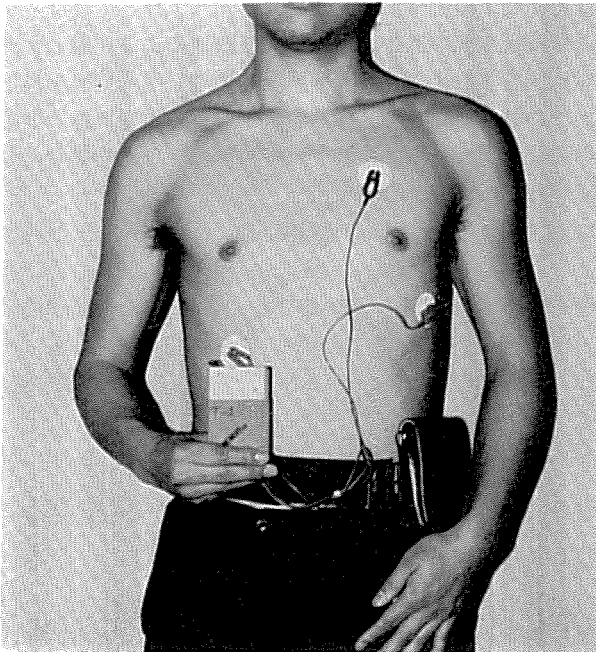


写真-1 心拍メモリー装置と電極張り付け状態
Photo. 1 Electolode and H.R. memory

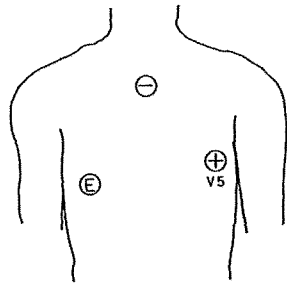
この装置には次の様な特長がある。

1. 長時間の心拍数の測定が出来る。
 2. 心電波形 R-R 時間の測定
 3. 因子番号の指定
 4. 心電図のモニター出力
 5. 長時間データの保存
- なお記憶された心拍データはインターフェイスを介して、マイクロコンピューターに送られて短時間でデータの各種処理を行い、その結果をプリントアウトしたり、グラフに出力することができる。

2) 作業について

調査を行った場所は、和歌山県有田郡清水町上湯川にある京都大学農学部付属和歌山演習林内11林班、20年生ヒノキ人工林および7林班15年

心電誘導導子の位置



心拍メモリ装置のブロックダイアグラム

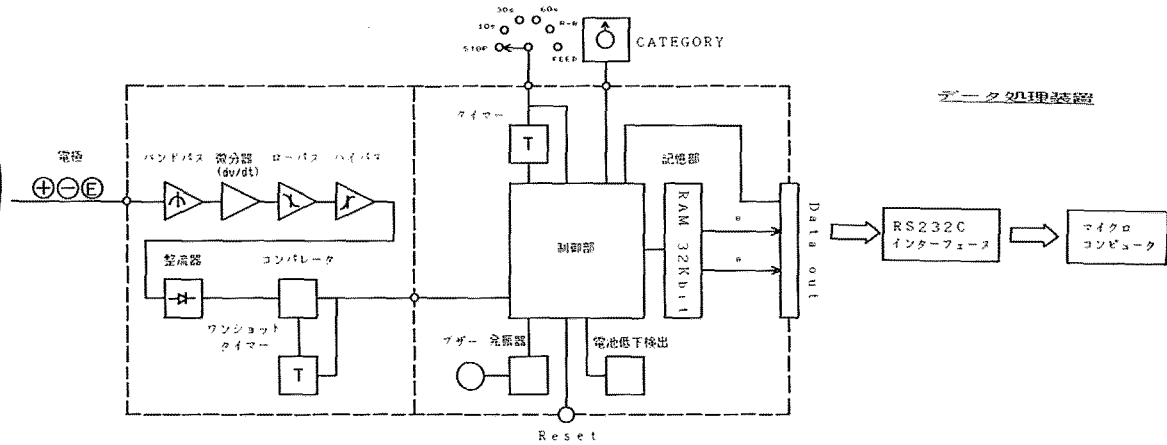


図-1 心拍メモリ装置のブロックダイアグラム

Fig. 1 Block diagram of H.R. Memory

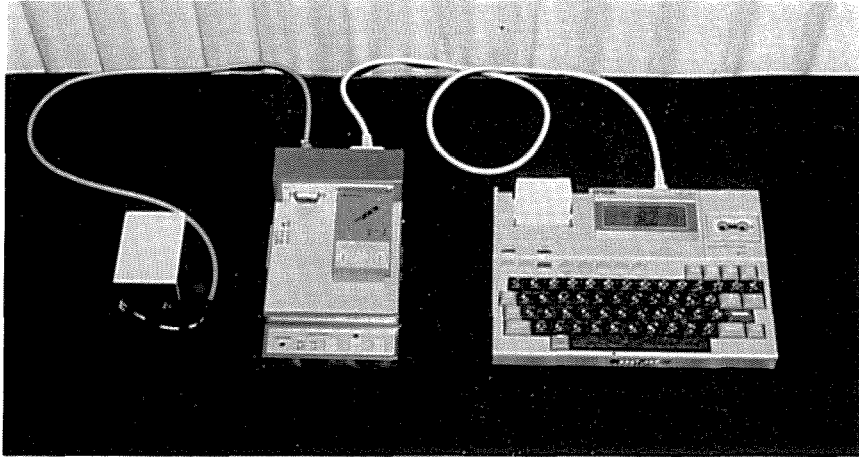


写真-2 心拍メモリ装置とインターフェースとマイクロコンピュータ（右端）
Photo. 2 H.R. Memory, Interface and Microcomputer

生スギ人工林でその概要については表-1に示すとおりである。調査時期は昭和59年10月1日～5日までの5日間で当演習林の造林作業に従事している演習林職員1名、作業員2名の計3名について、機械による枝打ち作業および手作業による枝打ち作業の場合における作業者の生理負担とその工期について調査を行った。なお作業者についての詳細は表-2に示すとおりである。本調査に使用した枝打ち機械はS社が最近開発した自登式枝打ち機械で重量25Kg、大きさは、全長540mm・全幅590mm・全高795mmである。

作業者の生理負担としては、心拍数の変化を指標とし、また作業中の心拍数をとらえる方法としては、前述の心拍メモリ装置を作業者に装着し、事務所発一歩行一現場着一午前作業一昼休み一午後作業一現場発一歩行一事務所着のように1日の行動について心拍数を記憶させ、しかる後装置を取り外しコンピュータにより心拍数を再現させて分析を行った。なお機械作業、手作業等については各作業者とも半日（午前、午後）を単位として心拍数を測定した。

表-1 調査地の概要
Tab. 1 Figure of test plots

項目	ヒノキ	スギ
場所	京大和歌山演習林11林班	同 7林班
標高	880～960m	690～760m
林令	20年	15年
平均胸高直径	12.4cm	14.1cm
立木密度	4000本/ha	2800本/ha
平均傾斜	34°	32°
調査地までの歩行時間	林道から登り 約45分	林道から登り 約15分
林地の状況	高さ1mくらいの下層木が疎生したり、下層木の切株があり歩きにくい 部分的に急傾斜あり	枝打前林地は極めて暗いので林内植生はほとんどなし 枝打後は多量の落枝のためにやや歩きにくい

つぎに心拍数より作業中の生理負担の推定については、従来まで作業前時の安静時心拍数と作業中の心拍数との間における変化量(増加量)によって推定してきたが、本調査においては個人差等による影響を少なくして精度を高めるために体力テストの一つであるステップテスト²⁾を応用した。ステップテストは高さ 40 cm の台を1分間に決めた回数だけ昇降しその回数によって体力を判定するテストである。すなわち各作業者について作業前およびその他調査を行っていない時にステップテストを行わせ、その間のステップ回数/分と心拍数を測定し両者の間について回帰分析を行い回帰直線式を求めた。また作業中の作業量(L)とエネルギー代謝量(Eg)は次の関係式より求めた。

$$L=W \times N \times H$$

$$Eg=0.163 \times L+1.2 \text{ (Kcal)}$$

但し L : 作業量 (Kgf. m/min)

W : 作業者の体重 (Kg)

N : 台の高さ (m)

N : 昇降回数 (回/分)

表-2 作業者の諸データ
Tab. 2 Specification of workers

作業者	A	B	C
年齢	38才	44才	45才
身長	166 cm	167 cm	162 cm
体重	52 kg	53 kg	60 kg
体表(m ³)	1.580	1.601	1.651
森林作業の経験	13年	28年	21年
枝打作業の経験	13年	16年	10年

3. 結果及び考察

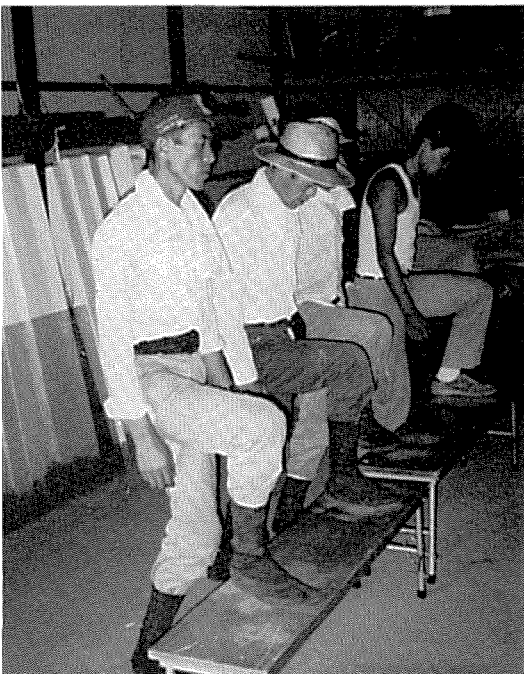


写真-3 ステップテストの様子
Photo. 3 Stepping exercise

1) ステップテスト (踏み台昇降運動)

各作業者A. B. C. の3名について高さ40 cmの台の昇降運動(写真-3参照)を毎分10回, 15回, 20回, 23回, 25回, 28回, 30回についてそれぞれ5分間継続し, そのときの心拍数を測定し, しかる後心拍数と毎分当りの昇降回数との関係について回帰分析を行った。結果は表-3, 図-2に示すとおりである。また, その回帰式は作業者A $Y=16.6004+4.7876X$ 相関係数 $r=0.976$ 作業者B $Y=52.3491+3.2014X$ 相関係数 $r=0.961$ 作業者C $Y=46.044+3.5731X$ $r=0.892$ であり3者いずれも検定の結果高度に有為であった。次にこの回帰式を用いて各作業者の作業中の心拍数を毎分当りの昇降回数に変換し生理負担を推定する手段とした。例えば, 作業者Aの10月1日午前の場合についてみる。回帰式 $Y=16.6004+4.7876X$ のYに表-4より, 作業中の平均心拍数97.6/分を代入してXを求めると,

表-3 ステップテストの回数 (回/分) と心拍数 (拍/分)
Tab. 3 Stepping rate and Heart rate

月日	回数	作業者	A	B	C
9月28日	10		74	90	90
	15		86	104	100
	20		110	118	114
	25		142	134	160
	30		158	154	164
9月29日	20		100	104	100
	23		118	118	122
	25		140	130	130
	28		154	142	140
	30		166	153	148

16.91が、得られる。この値が、16.91回/分、ステップ回数になる。同様に他の作業についても求めた値は、表-5に示す通りである。

2) 枝打ち作業中の心拍数および能率

調査地(ヒノキ、スギ)・作業種(手作業、機械作業)・作業者(A、B、C)別の作業中の心拍数は表-4に示すとおりである。この結果はスギ(平均胸高直径 14.1 cm, 林地傾斜32度)とヒノキ(平均胸高直径 12.4 cm, 林地傾斜34度)ごとにそれぞれ232本, 156本の枝打ちを行った場合の値である。まず作業者別の心拍数について検討してみると、作業者A、ヒノキでは機械作業、66~130/分、平均93.7/分、手作業68~102/分平均81.9/分と機械作業の方が高い値

を示している。心拍数の増減巾はヒノキ、スギとも機械作業の方が大きい値を示している。作業者B、ヒノキの場合機械作業 70~148/分、平均101.9/分、手作業60~120/分、平均77.2/分と作業者Aと同様機械作業の方が平均心拍数が高く、スギの場合機械作業、80~146/分、平均112.8/分、手作業、96~144/分、平均111/分と両者とも同じ程度の平均心拍数を示している。また心拍数の増減巾についてはヒノキ、スギとも機械作業の方が大きい値を示している。作業者Cヒノキの場合機械作業68~108/分・86.3/分、手作業88~132/分・115.3/分、スギの場合、機械作業50~116/分・82.6/分、手作業72~112/分・92.0/分と手作業の方が高い心拍数を示し、心拍数増減巾は、ヒノキ、スギとも機械作業の方が大きい値を示している等、作業中の心拍

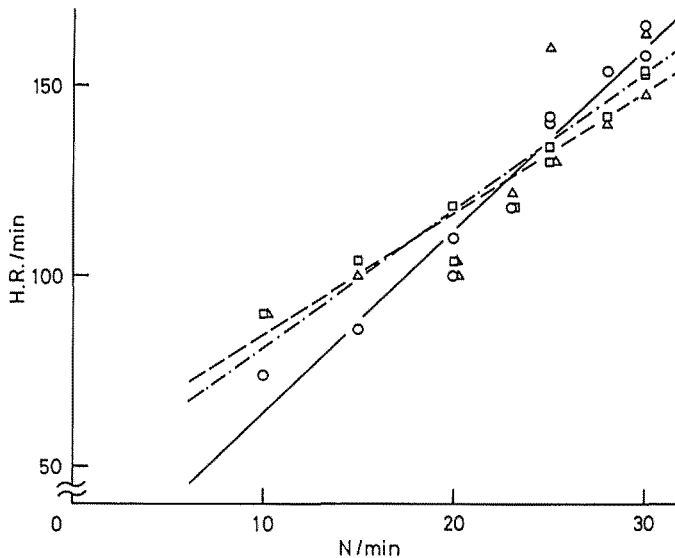


図-2 ステップテスト時の心拍数とステップ回数の関係

Fig. 2 Stepping rate and Heart rate

- A : $Y = 16.6004 + 4.7876X$ $r = 0.976$
- -□- - B : $Y = 52.3491 + 3.2014X$ $r = 0.961$
- -△- - C : $Y = 46.0484 + 3.5731X$ $r = 0.892$

表-4 調査日時・作業本数と平均心拍数（枝打ち作業時）及び心拍数の変動巾
 Tab. 4 Heart rate of workers during pruning and its specification

	調査日時 10月	作業者：A	作業者：B	作業者：C
ヒノキ	1日午前	機械作業本数 17本 作業時間 75分 心拍数 97.6 (66~126)	機械作業本数 17本 作業時間 74分 心拍数 122.5 (104~148)	手作業本数 19本 作業時間 73分 心拍数 115.3 (88~132)
	午後	機械作業本数 13本 作業時間 54分 心拍数 89.7 (66~130)	—	—
	2日午前	—	機械作業本数 18本 作業時間 70分 心拍数 81.2 (70~96)	機械作業本数 17本 作業時間 73分 心拍数 86.3 (68~108)
	午後	—	手作業本数 33本 作業時間 71分 心拍数 77.2 (60~120)	—
	5日午前	手作業本数 22本 作業時間 73分 心拍数 81.9 (68~102)	—	—
スギ	3日午前	手作業本数 15本 作業時間 71分 心拍数 96.3 (80~114)	機械作業本数 18本 作業時間 113分 心拍数 112.8 (80~146)	機械作業本数 20本 作業時間 105分 心拍数 89.7 (60~116)
	午後	機械作業本数 14本 作業時間 74分 心拍数 85.0 (60~116)	—	—
	4日午前	機械作業本数 22本 作業時間 120分 心拍数 80.7 (58~118)	—	機械作業本数 22本 作業時間 110分 心拍数 80.5 (72~112)
	午後	機械作業本数 30本 作業時間 141分 心拍数 85.1 (58~120)	—	手作業本数 43本 作業時間 139分 心拍数 92.0 (72~112)
	5日午前	—	手作業本数 27本 作業時間 144分 心拍数 111.0 (96~144)	機械作業本数 21本 作業時間 121分 心拍数 77.6 (50~100)

数は作業者Cを除いて手作業の方が低い値を示している。

つぎに1時間当りの枝打ち本数についてみると、機械作業の場合、ヒノキでは、13.6~15.4本、スギでは、9.6~12.8本、手作業の場合、ヒノキ15.6~27.9本、スギでは、11.3~18.1本であり、ヒノキではかなり、スギではわずかに機械作業の方がおとっている。手作業、機械作業の間では、作業条件に若干の差はあるが同時収録のビデオによる動作分析からみて、この場合手作業の方が作業能率がよいと言う結果であった。

図-3は、作業者Cの1日の経時変化を示したもので、昼休みをはさんで機械による枝打ち作業とナタとハシゴによる手作業の場合の心拍数の変化を表している。データは30秒毎の心拍数を1分間当りになおした値である。心拍数の傾向としては図でわかるとおり、自動車による出発→

H.R. (/min) < @= 15 AVN= >

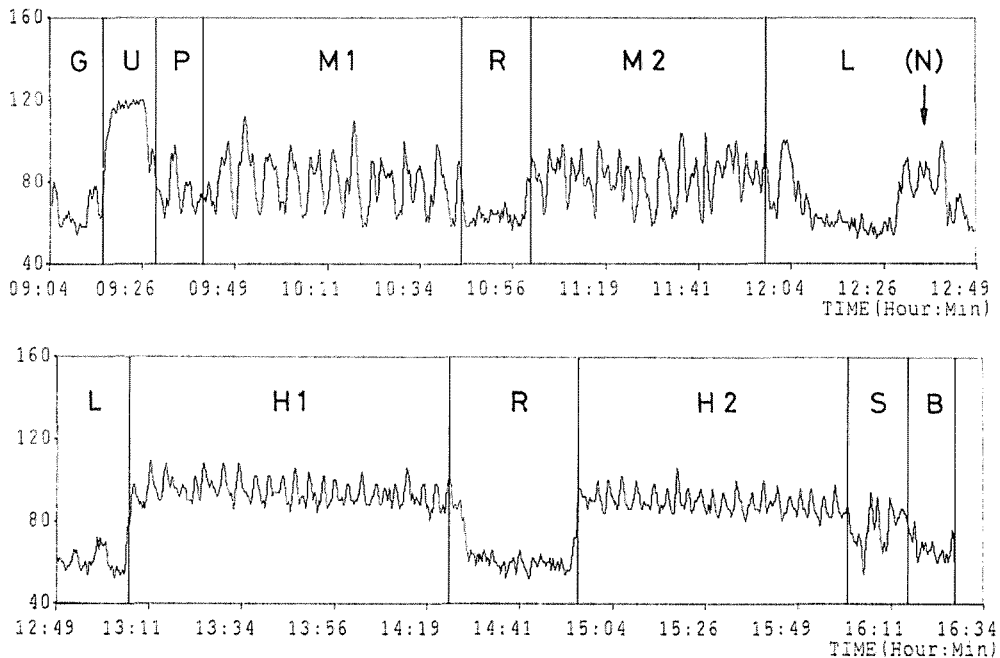


図-3 作業者Cの10月4日心拍数の移り変わり

Fig. 3 Variance of heart rate of worker C in 4th October

- G : 車で現場へ
 U : 枝打ち機械を背負って登り歩行
 P : 作業の準備
 R : 休憩
 M1 : 枝打ち機械による作業 (11本)
 M2 : 枝打ち機械による作業 (11本)
 L : 昼休み
 (N) : ナタ砥ぎ
 H1 : ナタとハシゴによる枝打ち作業 (24本)
 H2 : ナタとハシゴによる枝打ち作業 (21本)
 S : 後片付け
 B : 車で事務所へ戻る

機械を背負っての登り歩行で上昇し、機械により枝打ち作業、休憩後に降下、又、昼休み中のナタ研ぎに少し上昇というように各身体の動きに応じた作業者の状態が克明に表れている。例えば、機械による場合、機械を木から木へ運ぶ時に心拍数のピークが表れ機械が順調に枝打ちしている時には作業者が待ちの状態で心拍数は休憩時と同じ位の値になっている。しかし機械がトラブルを起した時は、その対策の作業時に心拍数のピークが表れている。また、心拍数の最大値と最小値の差は大きい。ナタとハシゴによる手作業の場合ハシゴを木から木への移動と木へ登る時に心拍数のピークが見られる。しかし木に登って作業をしているのでその値は大きく心拍数の最大値と最小値の差は小さい。

以上、枝打ち作業における作業中の心拍数および1時間当りの本数について述べてきたがいずれの場合においても1部を除いて手作業の方が良い結果を示している。これらの事は作業者自身あまり機械になれていない事、機械の重量が重く、特に機械作業の場合一人一台と云う作業仕組で調査をしたので急傾斜地の移動等にかかなりの労力がついやされこのような結果になったものと推察する。

3) 枝打ち作業の生理負担の推定

平川³⁾の研究報告『踏み台昇降運動時のエネルギー代謝量の推定』によると、踏み台昇降運動

の物理的仕事量とエネルギー代謝量の間には高い相関があり踏み台昇降運動時のエネルギー代謝量は次式により推定出来るとしている。

エネルギー代謝量 (Kcal/分) = 0.0163 × 体重 (Kg) × 台高 (m) × 昇降回数 (回/分) + 安静時エネルギー代謝量 (Kcal/分)

$$r=0.986 \quad (p<0.001)$$

本調査において枝打ち作業における作業者の生理負担を推定する方法として、まず各作業者にステップテスト (高さ 40 cm の踏み台昇降運動) を行わせその時の心拍数との関係を調べた結果は 1) で述べたとおりである。各作業者について求めた回帰式から作業中の心拍数を毎分当りの昇降回数に換算し前述の式により各作業者の作業中のエネルギー代謝量を推定した。この場合基礎代謝量は成人日本男子の場合 1 Kcal/分⁹⁾ とし、安静時のエネルギー代謝量は基礎代謝量の 1.2 倍として計算した。表-5 はその結果である。1 分間当りのエネルギー代謝量について考察してみると、作業場所の立地条件、作業条件等が一定でないため、はっきりした傾向は見られないがヒノキの場合そのエネルギー代謝量は手作業で 3.8815~8.7815 Kcal/分、平均 6.1625 Kcal/分、機械作業で 4.3135~8.7712 Kcal/分、平均 6.4001 Kcal/分と手作業の方が少し低い値を示している。これらの事はヒノキの場合作業場所が林道より登り歩行約 45 分であり、打ち上げ高が平均 3.7 m と低く、機械作業の場合、重さ約 25 Kg の機械を持って急傾斜地を移動する割合が多い等の事が影響していると考えられる。

スギの場合についてみると、手作業で、6.2308~7.5307 Kcal/分、平均 6.8688 Kcal/分、機械作業で、4.6542~7.7242 Kcal/分、平均 5.8809 Kcal/分とヒノキの場合と逆に、機械作業の方が低い値を示している。これは作業地が林道の近くにある事、枝打ち高が平均 6.2 m と高い

表-5 作業者のステップテスト換算値とエネルギー代謝量 (Kcal)

Tab. 5 Stepping rate and Energy metabolism of worker

	調査日時 10月	作業者 A	作業者 B	作業者 C
ヒノキ	1 日午前	16.91 ステップ/分 6.9332 Kcal/分	21.92 ステップ/分 8.7712 Kcal/分	19.38 ステップ/分 8.7815 Kcal/分
	午後	15.26 ステップ/分 6.3738 Kcal/分	—	—
	2 日午前	—	9.01 ステップ/分 4.3135 Kcal/分	11.27 ステップ/分 5.6088 Kcal/分
	午後	—	7.76 ステップ/分 3.8815 Kcal/分	—
	5 日午前	13.64 ステップ/分 5.8245 Kcal/分	—	—
スギ	3 日午前	16.65 ステップ/分 6.8450 Kcal/分	18.88 ステップ/分 7.7242 Kcal/分	12.22 ステップ/分 5.9804 Kcal/分
	午後	14.29 ステップ/分 6.0449 Kcal/分	—	—
	4 日午前	13.39 ステップ/分 5.7397 Kcal/分	—	9.64 ステップ/分 4.9721 Kcal/分
	午後	14.31 ステップ/分 6.0517 Kcal/分	—	12.86 ステップ/分 6.2308 Kcal/分
	5 日午前	—	18.32 ステップ/分 7.5307 Kcal/分	8.83 ステップ/分 4.6542 Kcal/分

こと、機械作業の場合、機械を持って移動する割合がヒノキの場合にくらべて少ない等の事が影響していると考えられる。

以上、枝打ち作業の生理負担について述べてきたが、作業時間、測定回数が少なく一定でないため機械作業・手作業の間についてははっきりした事は言えない。一応、枝打ち作業におけるエネルギー代謝量、生理負担量としては、6.0 Kcal/分～7.0 Kcal/分程度であると推察する。

ま と め

以上、枝打ち作業（機械作業、手作業）中における作業者の能率および作業中の生理負担について述べてきた。その結果、機械作業・手作業の間では、はっきりした傾向は見られなかった。しかし、1時間当りの本数、作業中の心拍数については、わずかではあるが、手作業の方が良い結果を示した。また、作業中の生理負担については機械作業の方が負担の度合は手作業よりいくぶん低い結果であった。これらの事は作業地の立地条件、作業時間、作業仕組、作業者の機械に対するなれ等が影響して、このような結果になったものと推察するが、一応、枝打ち作業の作業者の生理負担としては6.0 Kcal/分～7.0 Kcal/分の範囲であると推察する。

又、作業中の心拍数を測定する方法として今回の調査に心拍メモリ装置を導入した結果、データの取込、データの後処理とも有効であった。また、心拍数からの生理負担の推定については作業中の心拍数を物理的仕事量（踏み台昇降運動）に直し、その後エネルギー代謝量 Kcal/分に変換して推定していく方法もデータ数が少ないが、個人差を解消する一つの方法であることはわかった。

さいごに本調査を行うに当たり御協力いただいた本学和歌山演習林竹内林長はじめ職員各位、心拍数測定についてたえず助言をいただいた府立大学松原助教授および試験機を貸与下さったセイレイ工業株式会社の各位に対し深く感謝いたします。なお、本研究の一部は昭和59年度文部省科学研究（一般C）の補助により遂行しました。また、本研究の一部は第96回日本林学会大会にて口頭で、同講演集⁵⁾に論文として発表してある。

引 用 文 献

- 1) 竹井機器工業(株)：心拍メモリ装置使用説明書
- 2) 柳川寛治監修：スポーツテスト児童生徒編，文部省スポーツ課内社会体育研究会，1958
- 3) 平川和文：踏み台昇降運動時エネルギー代謝量の推定，体力科学（32）285～292，1983
- 4) 三浦豊彦他：新労働衛生ハンドブック，労働科学研究所，1954
- 5) 瀧本義彦他：枝打ちの作業工程と生理的負担（2）：第96回日林講，1985

Résumé

We examined the physiological load of worker during pruning operations with machine or by hand. They pruned HINOKI and SUGI in Kyoto University Forest of Wakayama. We estimated the physiological load from heart rate by using H.R. memory during pruning.

First, we checked the heart rate of each worker during stepping exercise, and next, we calculated the physiological load during working in the Energy metabolism (kcal/min) using the equation below:

Energy metabolism (kcal/min) = 0.0163 × Weight (kg) × Height of the platform (m) × Stepping rate (steps/min) + Resting Energy metabolism (kcal/min)

Result: Average heart rate during pruning were as follows;

1) pruning by hand: in the case of HINOKI, 77.2–115.3 H.R./min, 15.6–27.9 steps/min; in the case of SUGI, 92.0–111.0 H.R./min, 11.3–18.1 steps/min.

2) pruning with machine: in the case of HINOKI, 81.2–122.5 H.R./min, 13.6–15.4 steps/min; in the case of SUGI, 77.6–112.8 H.R./min, 9.6–12.8 steps/min.

There was no obvious tendency on physiological load during pruning, but we can estimate the load is 6.0–7.0 kcal/min.