

枝打ち機械を使用する作業の強度

松原周信*・瀧本義彦**・山本俊明***

Work intensity of forest workers using pruning machines

CHIKANOBU MATSUBARA*, YOSHIHIKO TAKIMOTO**,
and TOSHIAKI YAMAMOTO***

Work intensity of 3 forest workers during work with pruning machines were measured with portable heart rate recorders continuously under 3 levels of work load, i.e. 1 machine per 1 person, 3 machines per 2 persons and 2 machines per 1 person. To assess work rate from heart rate response, relationships between heart rate and O_2 uptake and energy expenditure were measured simultaneously applying a step test on each subject. Then work intensity of each subject was estimated from the relationship between heart rate and O_2 uptake. The work intensities observed during 1 machine per 1 person, 3 machines per 2 persons and 2 machines per 1 person, were 44.2 ± 8.9 , 52.9 ± 9.5 and $62.3 \pm 11.4\%$ of $\dot{V}O_2$ max, respectively. Energy expenditures of those groups were 5.09 ± 1.23 , 6.20 ± 1.32 and 7.36 ± 1.61 kcal/kg/h, and those of RMR were 4.0 ± 1.3 , 5.0 ± 1.3 and 6.2 ± 1.7 . The work intensity of forest workers engaging in pruning work, both with machines and manually, corresponds to IV (heavy) in the Japanese Recommended Dietary Allowances, i.e. grade of the most highest class.

従来、林業労働は作業強度の極めて高い労働として知られて来た。近年、伐木、造材、搬出等はかなり機械化されたが、保育作業は今のところまだその多くを人手に頼らざるを得ない状況にある。枝打ち作業についても、最近機械化が始まっているとはいえ、足場の悪い傾斜地でかなり重量のある機械を運搬し、立木に取りつける作業は重筋労働として残されている。また、1人で1台の枝打ち機械を使用する限り、作業功程成績は、手作業と比較し優れているとはいえない²⁰⁾。し

かし、機械を立木に取りつけてエンジンを始動させれば、設定された高さまでの間にある枝を払った後機械が下へ降りて来るまで、作業者はトラブルの発生を監視するだけでよいので、1人当たり1台を越える機械を操作することも可能であり、これによって、1人当たりの功程を改善することができる。その場合、作業の強度がどの程度であるのかを、心拍数を連続的に測定することによって推定した。

* 京都府立大学生活科学部保健体育学講座

Laboratory of Health and Physical Education, Faculty of Living Science, Kyoto Prefectural University

** 京都大学農学部林学教室林業工学講座

Laboratory of Forest Engineering, Department of Forestry, Faculty of Agriculture, Kyoto University

*** 京都大学農学部附属演習林

Kyoto University Forests

方法

被験者は、林業に従事している健康な男性3人で、その身体的特徴等は、第1表の通りである。この3人について、枝打ち機械使用時の心拍数を、携帯式心拍数記録装置（竹井機器 心拍メモリ装置）を用いて記録し、作業終了後、マイクロコンピュータ(NEC PC-98LT)

Table 1 Characteristics of subjects

subject	height cm	weight kg	age yrs	career* yrs
No.1	167.0	60.0	48	23
No.2	162.0	52.0	41	15
No.3	166.0	52.0	47	30
mean	165.0	54.7	45.3	22.7
S.D.	2.6	4.6	3.8	7.5

(*)number of years as a forest worker

を用いてデータを読み出し、フロッピーディスクに記録した。心拍数は10秒間ごとのデータを記録させたが、データ処理に際してはこれを6個ずつ加算し、1分ごとの値としたものを用いた。心拍数記録装置は、作業開始以前に装着し、作業終了後取り外したが、実際に枝打ちを行なっている時間のみをデータ処理の対象とした。作業場所は和歌山県内の植栽後20年を経たスギの人工林で、2年前に除間伐を1回実施しており、密度は2500本/ha、樹高は12~13m、この場所の傾斜は32~37度、下草は少なく除伐木が横たわっている程度であり、作業のために特別の悪条件はなかった。使用した枝打ち機械（セイレイ工業 やまびこ）は、重量（実測値）29.5kg、エンジンの排気量51.6cc、巻きつきフレームで樹幹を抱え込むように取りつけてエンジンを始動させれば、搭載されているチェーンソーで枝を払いながら予め設定した高さまで樹幹外周を螺旋状に上昇した後、自動的に下降する。作業内容は、いずれの被験者についても、1人で1台の機械を使用する

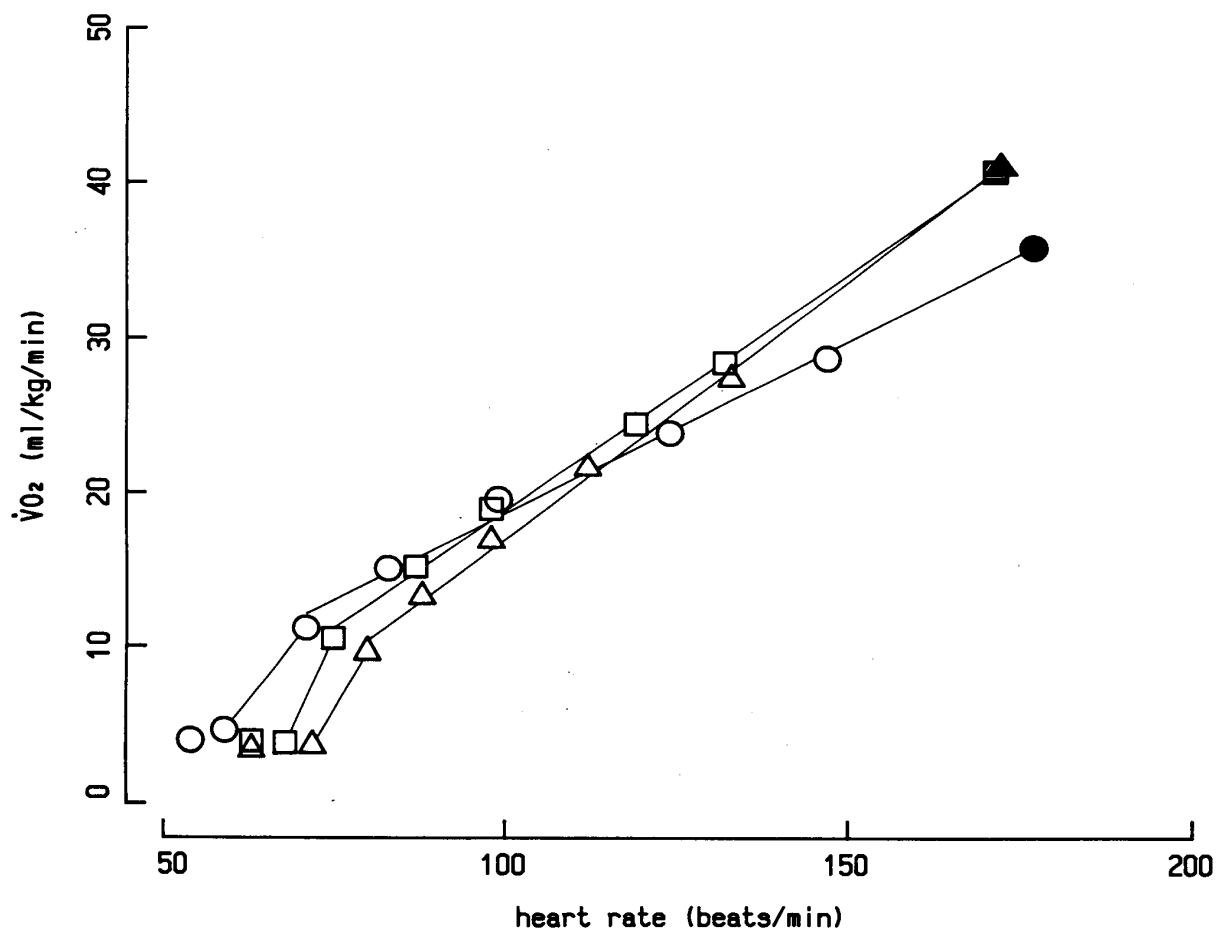


Fig.1 Relationship between heart rate and oxygen uptake during step tests.□, ○, △ corresponds to subject No.1,2,3, respectively. From left, each point represents the data of sitting, standing and stepping at rates of 5,10,15,20,25 ascents/min, respectively. Closed marks indicate the points correspond to estimated maximum heart rate, i.e. presumed maximum oxygen uptake.

作業を1回、2人で3台を2回、1人で2台を2回とした。1回の作業時間の平均値と標準偏差は114±22分で、1日のうちでは午前および午後それぞれ1回だけ作業を行なわせ、この作業ならびに、必然的に付随する準備や後片付け以外の作業は、同一の日には一切行なわせなかった。

また、この3人の被験者について、ステップテストを実施し、このときの心拍数と酸素摂取量ならびにエネルギー消費量を測定した。ステップテストは、高さ40cmの踏み台を使用し、3分間仰臥位をとらせたあと、椅座3分、次に立位3分、次に1分当たり5回の昇降を3分、以下同様に10、15、20、25回の昇降を3分ずつ行なわせた。心拍数は、携帯式心拍数記録装置(竹井機器 心拍メモリ装置)、酸素摂取量、エネルギー消費量はジルコニア式酸素濃度計、赤外線式二酸化炭素濃度計、熱線式呼気流量計(ミナト医科学 MG-360 および RM-300)を使用して測定し、これらのデータはRS-232Cホートを通じてマイクロコンピュータ(NEC PC-98LT)に入力し、フロッピーディスクに記録した。

結果

第1図は、被験者3人のステップテストにおける、座位、立位、および各運動強度の持続時間それぞれ3分間の内最後の1分間の心拍数と酸素摂取量を示したものである。初めに仰臥位を3分間とらせたのは、次の座位における心拍数並びに酸素摂取量の定常状態を早く招来させるためである。通常、仰臥位における定常状態が2分間で成立することは期待できないので、このデータは、図に示していない。

3人の被験者いずれについても、座位、立位の2点を除いた、踏み台昇降回数1分当たり5回～25回の5点は、ほぼ一直線上に位置した。相関係数は3人の被験者についてそれぞれ0.997、0.994、0.996で、いずれ

の被験者についても危険率0.1%以下で有意の相関が認められた。座位から立位におけるエネルギー消費量のレベルでは、心拍数と酸素摂取量の関係は、踏み台昇降回数5回～25回の回帰直線よりも勾配の小さい別な直線上に位置した。立位から踏み台昇降回数5回におけるエネルギー消費量のレベルには、以上2直線のいずれも適用できない区間が存在した。この領域には、立位の点と踏み台昇降回数5回の点を結ぶ直線を、それほど大きな誤差なく適用することができると思われる。

それぞれの被験者について、以上の3直線の方程式を求めれば、機械による枝打ち作業中の心拍数から、その時の酸素摂取量が推定できる。ところで、枝打ち作業中の心拍数のデータ中には、いずれの被験者についても、それぞれの被験者の立位における心拍数よりも低い数値のデータは存在しなかった。そこで、立位と昇降回数5回の2点を結ぶ直線と、昇降回数5回～25回における5点の回帰直線との2つの方程式を、それぞれの被験者ごとに求めた。さらに、3人それぞれについて、回帰直線を外挿し、年齢から推定される最高心拍数に対応する数値を各被験者の最大酸素摂取量と推定した。最高心拍数は、 $210 - 0.8 \times \text{年齢}^{\text{9}}$ とした。これらの数値を第2表に示した。最大酸素摂取量は、3人の被験者についてそれぞれ、体重1kgにつき1分間当たり40.8ml、35.9ml、41.1mlと推定された。池上¹⁰は日本人の最大酸素摂取量判定基準として、「低い」から「高い」までの5段階のまん中に当たる「平均」を、40～49歳では体重1kgにつき1分間当たり35.0～42.0mlとしている。3人の被験者はいずれも「平均」と判定された。

各被験者について、心拍数レベルの違いによる2直線をもとに、枝打ち作業時の心拍数からこのときの酸素摂取量を求め、さらにこれを最大酸素摂取量に対する百分率で表示することができる。これによって、異

Table 2 Equations to estimate $\dot{V}O_2$ and other values

subject	(1) HRs bpm	(2) standing 5 ascents min	(3) HR _s bpm	(2) regression line 5/25 ascents min	(4) r	(5) HRmax bpm	(6) $\dot{V}O_{2,max}$ ml/kg/min
No.1	68	$y=0.948x - 60.5$	75	$y=0.307x - 11.8$	0.997***	171.6	40.8
No.2	59	$y=0.542x - 27.2$	71	$y=0.224x - 3.72$	0.994***	177.2	35.9
No.3	72	$y=0.745x - 49.9$	80	$y=0.331x - 16.1$	0.996***	172.4	41.1
mean	66.3		75.3		0.9956	173.7	39.3
S.D.	6.7		4.5		0.0019	3.0	2.9

- (1) heart rate during standing position
 (2) x = heart rate (bpm) $y = \dot{V}O_2$ (ml/kg/min)
 (3) heart rate during stepping 5 ascents/min
 (4) ***significant ($p < 0.001$) correlation
 (5) $HR_{max} = 210 - 0.8 \times \text{age}$
 (6) estimated with regression line and HR_{max}

なった被験者間の作業強度を、生体への負担を表わす同一の尺度で取り扱うことが可能となる。第2図は、1人につき機械1台、2人に3台、1人に2台の3水準の作業それぞれについて、被験者3人のデータを合わせ、1分ごとの最大酸素摂取量に対する割合の頻度分布を示したものである。また、3水準の作業それぞれについて、その平均値と標準偏差を求め、第3表に示した。

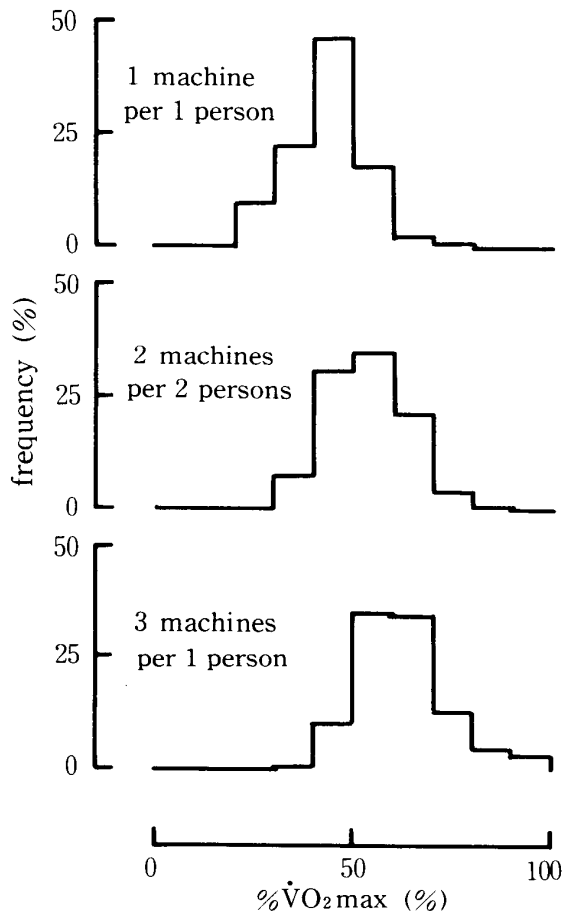


Fig.2 Frequency distribution of work intensity /min during pruning activity. Scale of horizontal axis is % $\dot{V}O_2$ max, and scale of vertical axes is percentage of frequency.

最大酸素摂取量に対する割合のほか、体重1kg当たりのエネルギー消費量ならびにRMRも、被験者間で同一の尺度として用いることができる。心拍数とエネルギー消費量の関係は、第1図に示した心拍数と酸素摂取量の関係とほぼ同様であったので、各被験者について第2表に示したと同じような2本の直線の方程式を求め、心拍数のデータからエネルギー消費量を計算し、3水準の作業それぞれについて平均値と標準偏差を求め、これについても第3表に示した。次に、3人の被験者について、身長と体重をもとに藤本ら⁶⁾の式を用いて体表面積を計算し、昭和44年改定による体表面積当たり基礎代謝基準値¹³⁾によって基礎代謝を計算した。安静時のエネルギー消費量は、ステップテストの際座位として実測されているので、以上の数値をもとに心拍数からRMRを計算し、3水準の作業それぞれについて平均値と標準偏差を求め、これについても第3表に示した。1人1台の機械使用、2人で3台、1人で2台の3水準相互の間には、最大酸素摂取量に対する割合、体重1kg当たりエネルギー消費量、RMR、いずれについても、0.1%以下の危険率で有意差が認められた。

考察

心拍数から酸素摂取量あるいはエネルギー消費量を推定するには、両者の関係が明らかでなければならない。これについては、1本の回帰直線^{1,2,4,5,8,13,17,19)}あるいは曲線^{3,5,12)}を用いる方法のほかに、2本の直線^{7,19)}を用いる方法が報告されている。1本の直線を用いる方法は簡便ではあるが、エネルギー消費量の低いレベルにおいては過小評価が避けられない。2本の直線を用いることによってこの点を改善することはできるが、エネルギー消費量の低いレベルと高いレベルの間にはいずれの直線も適用できない区間が存在する。この区間には第3の直線を適用すれば、推定誤差を小さくすることができる。

Table 3 % $\dot{V}O_2$ max, energy expenditure and RMR of pruning work with machines

level of work	number of data	% $\dot{V}O_2$ max %	EE kcal/kg/h	RMR		
1 machine / 1 person	264	44.2±8.9	5.09±1.23	4.0±1.3	***	***
3 machines / 2 persons	739	52.9±9.5	6.20±1.32	5.0±1.3		
2 machines / 1 person	709	62.3±11.4	7.36±1.61	6.2±1.7		

***significant (p<0.001) difference concerning % $\dot{V}O_2$ max, EE and RMR respectively

第3表に示したように、枝打ち機械使用時のRMRは1人1台の場合平均4.0、2人3台で5.0、1人2台で6.2であった。林業機械化協会¹⁴⁾は、手作業による枝打ちのRMRについて、梯子掛け替え4.1~4.9、梯子上り下り4.0、木登り(枝あり)6.0~6.1、樹上枝切り4.3~4.5と報告している。従って、1人1台の機械使用は手作業より強度が低く、1人2台の場合手作業より強度が高い、2人3台の場合ほぼ手作業に等しいと考えられる。

1人で2台の機械を使用した場合、平均して最大酸素摂取量の62.3%の強度であったが、無酸素性作業閾値は通常最大酸素摂取量の60~70%に存在する¹¹⁾ので、1人2台使用時の値は、ほぼ無酸素性作業閾値に相当する。すなわち、長時間持続できる最大限の強度で機械を使用する作業であることになる。この場合、第2図に示されるように、時として最大酸素摂取量に近いレベルで作業する時間も含まれ、40%以下の強度の時間はほとんどない。従って、1人2台の枝打ち機械使用は極めて強度の高い労働である。3人の被験者は要請された仕事を功程調査のための作業と解し、これに協力する意図からこのように激しい労働を行なったものと思われ、平常時であれば適宜小休止をとりながら作業することになると考えられる。

1人1台の作業では、最大酸素摂取量の60%を越える時間は極めて少なく、ほとんど有酸素レベルで作業が行なわれた。また、20~40%という低いレベルを示す時間もかなりの割合を占めた。つまり、枝打ち機械による作業では、枝打ちの終わった立木から機械を取り外して、これを次の立木まで運び取りつける一連の作業に多くのエネルギーを消費するが、一旦機械が枝打ちを開始すれば、これが終わるまで単にトラブルの監視を行なうのみとなる。1人1台の作業で強度の低い時間が多いのは、トラブル監視のみの時間が多いためであり、2人3台、1人2台となるにつれてこの時間が少なくなると、機械の運搬、取り付け時間の占める割合が高くなるため、全体としての作業強度が高くなったものと考えられる。

無酸素性作業閾値付近での長時間労働は、今日我が国のいかなる産業においてもほとんど姿を消していると思われ、林業労働者にのみこのような作業を強制することはできない。従って、枝打ち機械の使用は2人につき3台が限度である。なお、作業功程を改善するためには機械を改良して上昇速度を速くすることが望まれる¹⁸⁾が、その場合トラブル監視作業のみの時間が減少し、労働強度が増加する。従って、同時に機械の軽量化が必要である。

第三次改定日本人の栄養所要量¹¹⁾においては、生活

活動の強度をI(軽い)、II(中等度)、III(やや重い)、IV(重い)の4段階に区分し、IV(重い)の生活活動指数を1.00としている。一日のうち8時間睡眠をとり、枝打ち作業を行なう時間の他は全く安静にして過ごす¹⁹⁾と仮定し、食事をとるための活動代謝を無視すれば、次の式が成立する。

$$BM \times 0.9 \times 8 + WM \times WH + BM \times 1.1 \times (16 - WH) = 10,9BM \times 24(1+x) \dots\dots(1)$$

但し、BMは1時間当たりの基礎代謝量、WMは1時間当たりの枝打ち作業におけるエネルギー消費量、WHは作業時間、xは生活活動指数、睡眠時の代謝量は基礎代謝量の0.9倍、安静時は特異動的作用を除いて1.1倍とする。3人の被験者について、先に求めた基礎代謝量を体重1kgにつき1時間当たりの数値になおすと、その平均値と標準偏差は $1.011 \pm 0.399 \text{kcal}$ であった。また、第3表に示したように、1人1台の機械を使用した枝打ち作業のエネルギー消費量の平均値と標準偏差は、体重1kgにつき1時間当たり $5.09 \pm 1.23 \text{kcal}$ であった。BM=1.011、WM=5.09を(1)式に代入して次の式を得た。

$$x = 0.148WH - 0.033 \dots\dots(2)$$

(2)式より、1人で1台の枝打ち機械を使用して6.98時間作業すれば、それだけでも生活活動指数は1.00になる。すなわち、普通に1日枝打ち作業を行なえば、機械を使用した作業でも手作業でも、生活活動の強度はIV(重い)の段階に位置づけられる。

要約

3人の林業労働者について、枝打ち機械を使用した作業中の心拍数を連続測定し、同時にステップテストによって心拍数とエネルギー消費量等の関係を測定して作業の強度を求めた。1人1台、2人3台、1人2台の機械使用作業それぞれについて、最大酸素摂取量に対する酸素摂取量の割合は $44.2 \pm 8.9\%$ 、 $52.9 \pm 9.5\%$ 、 $62.3 \pm 11.4\%$ 、エネルギー消費量は $5.09 \pm 1.23 \text{kcal/kg/h}$ 、 $6.20 \pm 1.32 \text{kcal/kg/h}$ 、 $7.36 \pm 1.61 \text{kcal/kg/h}$ 、RMRは 4.0 ± 1.3 、 5.0 ± 1.3 、 6.2 ± 1.7 であった。

1人で1台の枝打ち機械を使用した場合の作業強度は手作業より低く、2人3台で手作業とほぼ等しく、1人2台では手作業より高く、無酸素性作業閾値付近を前後する激しい労働であった。

枝打ち機械を改良して上昇速度を速くすれば作業功程が改善されるが、労働強度が増加するので、同時に機械の軽量化が必要である。

枝打ち作業に従事すれば、機械を使用した作業でも手作業でも、その生活は、第三次改定日本人の栄養所要量による生活活動の強度4段階のうち一番強度の高

い、IV (重い) に位置づけられる。

ご指導賜わった京都府立医科大学第一生理学教室の
森本武利教授に深甚の謝意を表します。

(1988年8月15日受理)

文 献

- 1) Acheson, K.J., I.T. Campbell, O.G. Edholm, D.S. Miller and M.J. Stock. The measurement of daily energy expenditure—an evaluation of some techniques. *Am. J. Clin. Nutr.* 33:1155-1164, 1980.
- 2) Astrand, Irma. Estimating the energy expenditure of housekeeping activities. *Am. J. Clin. Nutr.* 24:1471-1475, 1971.
- 3) Campbell, I. T. The use of heart rate to measure habitual energy expenditure. *Am. J. Clin. Nutr.* 39:494-496, 1984.
- 4) Christensen, Carl C., Harald MM Frey, Erik Foerstelien, Erling Aadland, and Harald E Refsum. A Critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O₂ consumption/heart rate curves and average daily heart rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 37:468-472, 1983.
- 5) Dauncey, M.J. and W.P.T. James. Assessment of the heart-rate method for determining energy expenditure in man, using a whole body calorimeter. *Br. J. Nutr.* 42:1-13, 1979.
- 6) 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝. 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) 橋本勲, 青木純一郎, 進藤宗洋, 小林寛道, 佐藤祐. 日本人の身体活動量の低下状況とその改善手段に関する研究. *栄研報告* 32: 53-60, 1983.
- 8) Htay, Htay, Lilian Po, and M. Mya-Tu. Habitual physical activity of rural Burmese women. *Ergonomics* 21:239-245, 1978.
- 9) 池上晴夫. 運動処方 —理論と実際—. P 170 朝倉書店 1982.
- 10) 池上晴夫. 運動処方 —理論と実際—. P 180 朝倉書店 1982.
- 11) 池上晴夫. 運動処方の実際. P 164 大修館書店 1987.
- 12) Kashiwazaki, Hiroshi, Tsukasa Inaoka, Tsuguyoshi Suzuki and Tomiko Tamada. Daily energy expenditure of middle-aged Japanese housewives measured by 24-hour heart rate and diary. *Nutrition Research* 5:453-463, 1985.
- 13) 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.
- 14) 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 33 第一出版 1984.
- 15) Payne, Philip R., Erica F. Wheeler, and Carmencita B. Salvosa. Prediction of daily energy expenditure from average pulse rate. *Am. J. Clin. Nutr.* 24:1164-1170, 1971.
- 16) 林業労働の作業強度表 エネルギー代謝率. PP53-54 林業機械化協会 1961.
- 17) Schutz, Yves, Aaron Lechtig, and Robert B. Bradfield. Energy expenditures and food intakes of lactating women in Guatemala. *Am. J. Clin. Nutr.* 33:892-902, 1980.
- 18) 瀧本義彦, 藤井禧雄, 山本俊明, 竹内典之, 佐々木功, 山下俊二. 枝打ち機械の作業工程について (3) —異なった枝打ち機械による作業工程の比較—. *京大演報* 59: 196-206, 1987.
- 19) Warnold, Ingrid and Regnhild Arvidsson Lenner. Evaluation of the heart rate method to determine the daily energy expenditure in disease. A study in juvenile diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 30:304-315, 1977.
- 20) 山本俊明, 瀧本義彦, 寺川仁, 山田容三, 藤井禧雄, 佐々木功. 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—. *京大演報* 57: 247-257, 1986.