

## 森林作業強度の測定方法に関する研究

瀧本義彦・黄 箭波・松原周信

### The Research of Measuring Method of the Forest Work Intensity

Yoshihiko TAKIMOTO, Jianbo HUANG and Chikanobu MATSUBARA

**Abstract** We want to measure the physiological load of forest worker by use the energy consumption, as the same evaluation indicate.

But, it is difficult to measure the energy consumption during forest work. And the equipment of energy consumption is very expensive.

In this study, we measured the heart rate and energy consumption of many subjects by using Harver-step-test in laboratory, and next measured about heart rate during 24 hours.

There is large correlation between the heart rate and energy consumption about each subject, but it is difficult to display one regression line.

In the case of basic heart rate in sleep time, there is no individual variations. But this new equation, it will be possible to estimate energy consumption from relative heart rate, when we estimate physiological load of labour at forest work.

Key word: Forest work; physiological load; heart rate; energy consumption; relative heart rate.

#### はじめに

森林作業は作業強度の極めて高い労働として知られており、古くから労働科学的視点の研究が行われてきた。最近では、作業者の生理負担を把握するために、近年発達が進んでいるME機器を使って、森林作業時の生理負担を測定する研究が盛んに行われている。

生理負担の評価指標として異なる作業者間で評価可能な体重1kg当たりのエネルギー消費量は有効である。しかし、作業現場で直接エネルギー消費量を経時的に測定するのは容易ではなく、測定内容も限られていた。そこで、従来は作業中のエネルギー消費量の測定を避けて、ステップテストなどにより作業者個人の心拍数とエネルギー消費量との関係を明らかにして、心拍数から作業中のエネルギー消費量を推定して来た。<sup>1,2,3)</sup>このようにして求めた帰式は作業者個人間の共通性がないので、作業者の生理負担を比較するのが難しかった。

本研究は森林作業時における作業者のエネルギー消費

量の推定方法の改良を目的として、異なる作業者間に共通の関係式を求め、測定しやすい運動時の心拍数と熟睡時の基礎心拍数との比率、すなわち相対心拍率から被験者のエネルギー消費量を推定する方法を検討した。

また、森林作業中のエネルギー消費量の直接測定は困難なので、実験室で枝打ち手作業の模擬作業を行い、心拍数・相対心拍率からの推定値とエネルギー消費量の実測値とどの程度合致するかを調べた。

#### 実験方法

被験者は、健康な8人で、その身体的資料は表1に示した通りであった。その内訳は、大学生5人、大学院生2人、林業に従事している技官1人である。それぞれの被験者につき、実験室においてステップテストを行った。踏み台の高さは40cmで、まず、仰臥位、椅座位、立位をそれぞれ3分間の後、1分間当たり、5、10、15、20、25、30回の昇降による6段階の運動負荷を3分間ずつ設定した。被験者の昇降ペースはスピーカからの指示音に合わせて昇降運動を行った(図1参照)。この間、図2のように胸部から心電図を誘導し、R波検出装置を用いて

黄 箭波：島根大学大学院農学研究科院生  
松原周信：京都府立大学生生活科学部

心拍数を測定した。同時に、吸気および呼気の酸素と二酸化炭素濃度および呼吸気量を、ジルコニア式酸素濃度計および赤外線式二酸化炭素濃度計（ミナト医科MG-360）、熱線式呼吸気流量計（ミナト医科 RM-300）を用いて酸素摂取量などを測定した（図3参照）。酸素および二酸化炭素濃度計は各被験者測定の前直前に標準ガス（O<sub>2</sub>: 12.07% CO<sub>2</sub>: 5.08%）を用いて校正した。得られたデータはRS-232Cポートを介してマイクロコンピュータ（NEC PC-9801n）に入力し、フロッピィディスクに記録した。

そして、被験者の24時間の心拍数をハートレートメモリ装置（竹井機器）を用いて1分間ごとのデータを記録した（図2参照）。測定後、マイクロコンピュータを用い

表1 被験者のデータ

被験者	年齢	身長(cm)	体重(kg)	職業
No.1	25	166.0	68	技官
No.2	23	175.0	58	学生
No.3	23	183.0	70	学生
No.4	34	173.0	72	院生
No.5	33	176.0	88	院生
No.6	22	164.0	60	学生
No.7	23	172.0	68	学生
No.8	22	167.0	68	学生

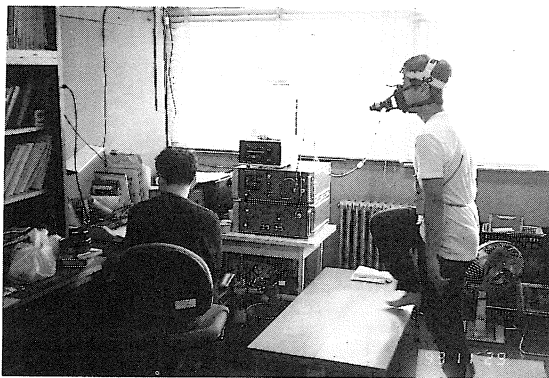


図1 ステップテストの様子

てデータを読み出し、フロッピィディスクに記録した。被験者には24時間の生活を記録してもらった。これらの測定値から、心拍数と酸素摂取量、エネルギー消費量の関係および相対心拍率（(運動中の心拍数/熟睡中の基礎心拍数)×100）とエネルギー消費量の関係を求めた。

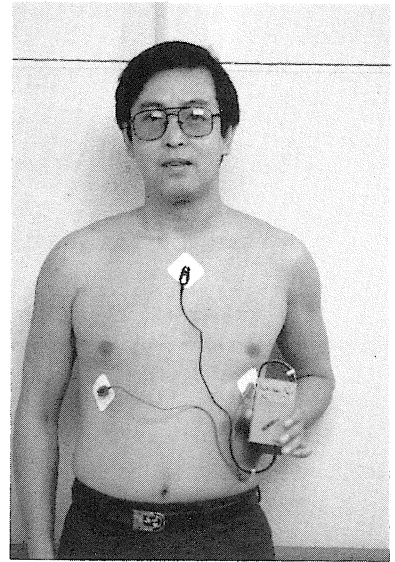


図2 ハートレートメモリ装置

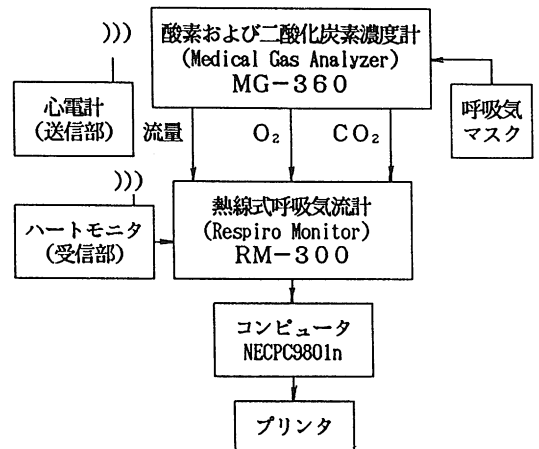


図3 呼吸気分析模式図

また、枝打ち手作業の模擬作業実験は実験室において行った。模擬作業場所を床と脚立上に、模擬作業のナタの高さを左足の踏み場所から120cmと170cmに設定し、スピーカからの毎分120回の音に合わせてナタを「振る」、「振らない」を5回ずつ3分間、椅子に座って安静3分間を、交互に8回行った。同時に、上述の測定装置を用いて心拍数とエネルギー消費量を測定した（図4参照）。なお被験者の模擬作業項目の順番はランダムにした。

結果および考察

1. 被験者の有酸素能力

体重1kgにつき1分間当たりの最大酸素摂取量を日本での最大酸素摂取量判定基準表に適用すれば、人間の有酸素能力を「低い」、「やや低い」、「普通」、「やや高い」、「高い」の5段階に判定することができる。<sup>4)</sup>

まず、被験者8人の最大酸素摂取量および有酸素能力



図4 模擬枝打ち手作業実験の様子

を調べた。被験者8人について、ステップテストにより得られた心拍数と酸素摂取量の回帰直線を使って、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。最大心拍数の推定式は  $(210 - 0.8 \times \text{年齢})$ <sup>4)</sup> を用いた。その推定結果を表2に示した。最大酸素摂取量はそれぞれ、48.5ml, 39.4ml, 53.9ml, 36.3ml, 47.2ml, 39.6ml, 43.1ml, 46.9mlであり、被験者8人の中には、「低い」、「やや低い」、「普通」、

「やや高い」という判定は2人ずつである。被験者8人は20代、30代の若者であるが、有酸素能力は様々である。

表2 被験者の有酸素能力の判定

被験者	推定最大心拍数 (beats/min)	推定最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	判定
No. 1	200.0	39.4	低い
No. 2	201.6	48.5	普通
No. 3	201.6	53.9	やや高い
No. 4	192.8	36.3	やや低い
No. 5	193.6	47.2	やや高い
No. 6	202.4	39.6	低い
No. 7	201.6	43.1	やや低い
No. 8	202.4	46.9	普通

2. 昇降回数と心拍数の関係

ステップテストの昇降回数と心拍数およびエネルギー消費量の回帰式を表3に示した。この結果から昇降回数と被験者の心拍数およびエネルギー消費量の間にも高い相関関係が存在するので、ステップテストは運動負荷試験として有効であることが分かった。

3. 心拍数とエネルギー消費量の関係

図5はステップテストにおける立位と、1分間当たり5~30回の昇降運動それぞれ3分間のうち、いずれも最後の1分間の心拍数とエネルギー消費量の関係を示したものである。表4は心拍数とエネルギー消費量の回帰式である。図5と表4から、被験者個人にとって心拍数とエネルギー消費量の高相関関係があるが、これらの直線の勾配と切片は被験者によって異なり、総合的に1本の直線として扱うことは難しいということが判

表3 被験者の回帰式

被験者	昇降回数と心拍数	R	昇降回数とエネルギー消費量	R
No. 1	$y = 3.34x + 78.5$	0.9981	$y = 0.0064x + 0.0226$	0.9975
No. 2	$y = 3.24x + 67.3$	0.9630	$y = 0.0064x + 0.0180$	0.9953
No. 3	$y = 2.74x + 61.8$	0.9883	$y = 0.0055x + 0.0194$	0.9978
No. 4	$y = 3.70x + 77.6$	0.9987	$y = 0.0058x + 0.0225$	0.9991
No. 5	$y = 3.14x + 60.0$	0.9777	$y = 0.0059x + 0.0173$	0.9942
No. 6	$y = 3.66x + 90.6$	0.9983	$y = 0.0059x + 0.0316$	0.9956
No. 7	$y = 3.64x + 76.4$	0.9861	$y = 0.0066x + 0.0171$	0.9973
No. 8	$y = 3.79x + 60.7$	0.9950	$y = 0.0064x + 0.0211$	0.9980

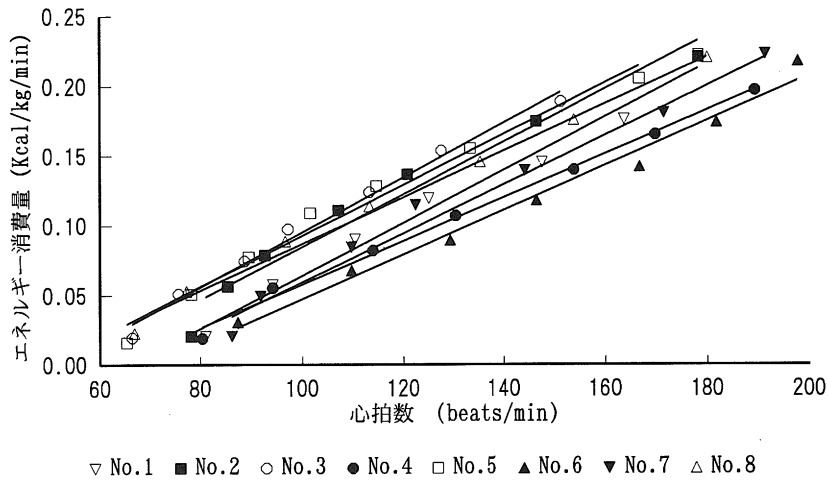


図5 心拍数とエネルギー消費量の関係

た。被験者 8 人の有酸素能力が違ったので、心拍数とエネルギー消費量の関係も違った、また、エネルギー消費量の低いレベルにおいて、これらの回帰式からの推定値は実測値より大きいという傾向がある。この区間に推定誤差が存在するが、実際は森林作業の強度が比較的高いので、この区間をほとんど使わないので問題はない。

表4 心拍数とエネルギー消費量の回帰式

被験者	心拍数の範囲 (beats/min)	回帰式	相関係数 (R)
No.1	81.0~178.2	$y=0.00189x-0.1043$	0.981
No.2	78.2~178.2	$y=0.00190x-0.1260$	0.993
No.3	66.4~151.2	$y=0.00196x-0.1007$	0.994
No.4	80.3~189.4	$y=0.00156x-0.0981$	0.997
No.5	65.4~166.6	$y=0.00183x-0.0902$	0.989
No.6	87.3~197.8	$y=0.00160x-0.1127$	0.980
No.7	86.1~191.4	$y=0.00176x-0.1166$	0.991
No.8	66.9~180.0	$y=0.00167x-0.0800$	0.997
全員	66.4~197.8	$y=0.00157x-0.0794$	0.993

#### 4. 相対心拍率とエネルギー消費量の関係

心拍数の代わりに、心拍数のパーセント表示法がある。

パーセント表示法の基準心拍数として、安静心拍数を使うことが多い。しかし、心拍数が比較的低いところでは（例えば、仰臥位、椅座位の安静心拍数）、情緒的興奮や精神緊張、体の調子、日時などの影響が比較的高いことを考えると、ここで基準心拍数に熟睡中の安定な基礎心拍数を使うことにする。すなわち、(運動中の心拍数/熟睡中の基礎心拍数)×100 という相対心拍率を使う。被験者の熟睡中の基礎心拍数は図6に示した被験者の24時間の心拍数の推移から完全に熟睡中の平均心拍数を熟睡中の基礎心拍数とした。図6の中のTの範囲は熟睡中を示す。図7は被験者8人の立位と1分間当たり5~30回の相対心拍率とエネルギー消費量の関係を示したものである。表5は相対心拍率とエネルギー消費量の回帰式である。その相関関係を示す全員の直線回帰式はyをエネルギー消費量、xを相対心拍率とすると、 $y=0.001x-0.1002$ ,  $R=0.986$ , 危険率1%有意である。図7では直線の両端(立位, 1分当たり30回と対応する点)で直線から少し外れる傾向があるが、図5より被験者の個人差が小さくなって、ほぼ1本の直線になり、両者の間には高度に有意な相関関係が認められた。

これはこの回帰式により、相対心拍率からエネルギー消費量を推定することが可能であることを表している。その理由は熟睡中の基礎心拍数が人間の最低の体力消費を維持する心拍数であるだけでなく、情緒的興奮や精神

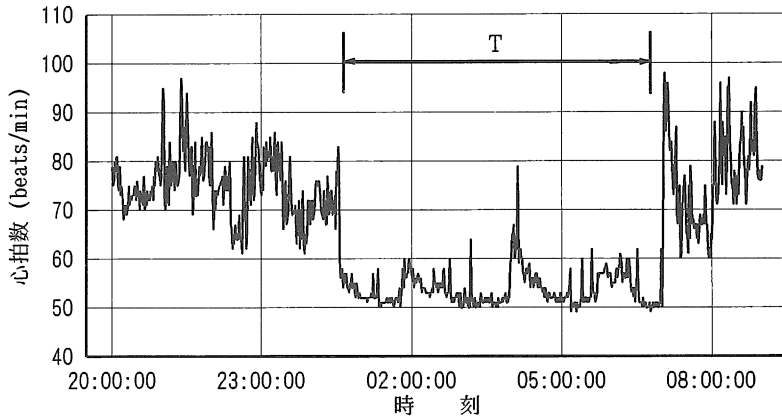


図6 被験者24時間心拍数の推移  
T：熟睡中の時間

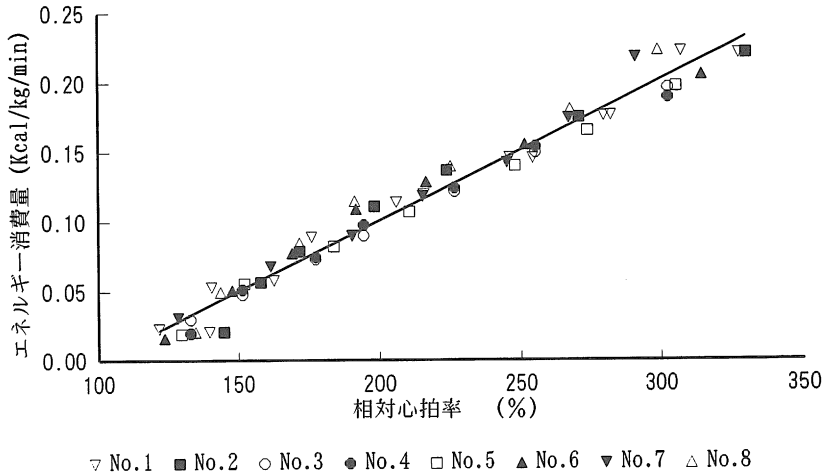


図7 相対心拍率とエネルギー消費量の関係

緊張などの影響が比較的に弱いので、相対心拍率では運動中のエネルギー消費量も生理的な相対負担度となって、エネルギー消費量が相対心拍率に比例すると思われる。ところが、エネルギー消費量が比較的低いレベルにおいて(立位, 昇降回数5回/分), 回帰式から得られた推定値は、測定値と全く同じと言えない。この領域では、人間の体への影響因子が比較強く不安定な状態を引き起こし易い。この領域の推定にはまだ問題が残っている。しかし、森林作業の強度をステップテストの昇降回数に

換算すると、10.32~25.58回/分になるという報告<sup>5)</sup>があり、いずれも立位, 昇降回数5回よりはるかに大きい。そこで、森林作業における作業者の生理負担を評価する時、作業者の熟睡中の基礎心拍数と作業中の心拍数が判れば、ステップテストのような実験をしなくても、この共通な回帰式によって直接に作業中のエネルギー消費量を推定することが可能で、推定も簡単になる。この推定方法の意義はハートレートメモリ装置だけを用いて、作業中のエネルギー消費量を推定出来ることである。

表 5 相対心拍率とエネルギー消費量の回帰方程式

被験者	熟睡中の 基礎心拍数 (beats/min)	回帰式	相関係数 (R)
No.1	54.0	$y=0.00110x-0.1260$	0.993
No.2	58.0	$y=0.00102x-0.1043$	0.981
No.3	50.0	$y=0.00098x-0.1007$	0.994
No.4	62.0	$y=0.00097x-0.0981$	0.997
No.5	53.0	$y=0.00097x-0.0902$	0.989
No.6	68.0	$y=0.00115x-0.1127$	0.980
No.7	64.0	$y=0.00114x-0.1166$	0.991
No.8	55.0	$y=0.00092x-0.0800$	0.997
全員		$y=0.00101x-0.1012$	**0.986

\*\*は危険率1%有意

## 5. 模擬作業

### 1) 模擬作業に影響する要因の分析

模擬作業は模擬動作が簡単に実現できる枝打ち手作業を選択した。まず、模擬枝打ち手作業に影響する要因を把握するために、分散分析によって要因を分析した。「模擬作業の場所」、「高さ」と「作業者」を要因に選んだ時、3因子要因分散分析（繰返しなし）の結果は表6の通りであった。その結果は心拍数、エネルギー消費量および相対心拍率では、いずれも「作業者」が有意となった。心拍数より相対心拍率のF値が小さくなったが、影響因子として依然に強かった。これは実際の枝打ち作業とある程度に異なる場所があったと思われる。

### 2) 回帰式の検討

模擬枝打ち手作業のデータを用いて、ステップテストによって得た被験者個人の心拍数および相対心拍率とエネルギー消費量との回帰式を検証した。その結果、心拍数および相対心拍率とエネルギー消費量の回帰式を適用できない被験者もいた。その原因は、今回の模擬枝打ち手作業の作業強度が軽くて、被験者8人の平均心拍数が $91.8 \pm 13.7$ 拍/分で、被験者のステップテストの心拍数と比較すると、ほぼ立位～5回/分の昇降運動の心拍数に相当し、推定の難しい範囲にあった。今回の被験者は20代と30代で、今後は違う年代の被験者について相対心拍率とエネルギー消費量との関連を検討したい。

表 6 分散分析の結果

要因	自由度	心拍数の F値	エネルギー 消費量の F値	相対心拍 率のF値
A (作業場所)	1	0.05	2.43	0.07
B (作業高さ)	1	1.15	1.52	1.12
C (作業者)	7	**46.2	**20.9	**22.0
A×B	1	0.005	0.75	0.04
A×C	7	0.35	1.30	0.39
B×C	7	0.49	1.56	0.43
誤差	7			
合計	31			

\*\*は危険率1%有意

## 引用文献

- 1) 松原周信・瀧本義彦・山本俊明, 枝打ち機械を使用する作業の強度. 京都府大学術報告 (理学・生活科学), **39**: 53-58, 1988.
- 2) 松原周信・瀧本義彦, 未熟練林業労働者における枝打ち作業の強度と工期. 同, **41**: 67-72, 1990.
- 3) 山本俊明・瀧本義彦・石川知明, 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). 京大農演報, **61**: 228-235, 1989.
- 4) 池上晴夫, 運動処方—理論と実際— 朝倉書店, 東京, 267 pp., 1982.
- 5) 上飯坂實・神崎康一, 森林作業システム学. 文永堂出版株式会社, 東京, 292 pp., 1990.