

心拍数からみた山林労働者の歩行負担

—京都大学和歌山演習林における調査例—

山 田 容 三

A burden of forest workers in walking by the heart rate

—Study cases of the kyoto university forest wakayama—

Youzou YAMADA

要 旨

山林労働者の歩行による生理的負担を明らかにするために、京都大学和歌山演習林においてハートメモリーを用いた心拍数の経時観測を行った。歩行は速度に制限を付けない自由歩行とし、負荷には3 kg, 6 kg, 10 kg と 40 kg の4種類を設けた。この結果、6 kg 以下の負荷で30%の登り勾配までの場合は、55~60%の歩行負担となり、60% of VO_2 MAX 以下の有酸素的運動である事がわかった。このことから、6 kg 以下の負荷において歩行の生理的負担は特に問題のないことが推察された。しかし、登り30%勾配において10 kg の負荷では5~15%、40 kg の負荷では3~25%の増加となり、それぞれ60~70%、65~83%の歩行負担となった。特に40 kg の負荷の場合は、無酸素的運動が多くなりかなりの生理的負担であることがわかった。このことから40 kg の負荷で登り歩行をする場合は多くとも50~100 m 以内にすべきことが推察された。なお、下り歩行においては総本的に生理的負担の問題がないことがわかった。又、平均勾配と歩行速度の間に有意な指数回帰関係が認められた。

1. は じ め に

道路（林道・公道・作業道および全ての車道を含む）が森林作業（造林・伐出作業、天然林手入れ、林内巡視等）に与える影響を数量的に明らかにするために、筆者等は作業現場への行きやすさという観点から研究を進めている。そこで、作業員が道路と作業現場の間を往復する通勤歩行というものに着目して調査を続けてきた。この通勤歩行に与える道路の効果を考えると、歩行する時間が短くなることから時間的負担の軽減、又それからくる作業員の生理的負担の軽減も予想され、心理的に行きやすいというイメージが作られるのではないかと考えられる。これらの負担度を数量的に明らかにすることによって、道路からの適切な作業現場の範囲を推察する資料を得ることができると思われる。このことはすなわち森林作業をするための適正な道路密度とその配置を示すことが可能になるという事でもある。

前会の報告¹⁾では、通勤歩行の時間的負担を主に調査し、歩行時間に影響を与える要因が歩行水平距離、歩行平均勾配そして歩行の際のその他悪条件の順であることが明らかになった。しかし、残念ながらその際に作業員が受ける生理的負担については十分に調査することができなかつ

た。

そこで今回は、長時間の心拍数を記録できる IC を内蔵した携帯式ハートメモリーを用いて、作業員の心拍数の変化を終日調査することとした。これによって、歩行水平距離、歩行平均勾配、歩行速度及び歩行の際の負荷等が、作業員の肉体にどのような負担を与えるか詳細に分析する事が期待できる。調査にあたっては京都大学農学部附属和歌山演習林を用い、本学演習林山本助教教授を中心に本学農学部林学科林業工学研究室メンバーによる枝打機の功程調査と共同で行った。この調査で測定した心拍データの内、往復の通勤歩行の部分のデータを解析した。この結果、通勤歩行が作業員に与える生理的負担について若干の所見を得たので本報で発表する。

なお本研究は昭和59年度奨励研究（A）の助成を受けて行ったものである。

最後に、本調査研究に多大な御協力をしていただいた京都大学農学部附属和歌山演習林職員の方々と、親身な御指導と御協力を賜った本学演習林山本助教教授はじめ林学科林業工学研究室諸先生、および院生諸君に感謝の意を表します。又、運動生理学の面で有益な御助言を頂いた本学教養部田口助教教授にこの場を借りまして厚くお礼を申し上げます。

2. 調査方法

本調査は、本学演習林山本助教教授を中心に林業工学研究室との共同研究で行われた自登式枝打機「やまびこ」の作業功程調査と生理的負担度の調査の一環として行った。

調査地は本学和歌山演習林内に二箇所設定した。ひとつは、11林班のヒノキ造林地のプロットで、沢筋林道から水平距離 1745.3 m 標高差 333.5 m に位置する。もうひとつは、7林班のスギ造林地のプロットで、水平距離 300.8 m 標高差 91.3 m に位置する。このそれぞれの歩行経路の縦断図を図-1、図-2に示す。図中の H. D. は水平距離、G. H. は起点を 0 m とした時の地盤高、P. D. は区間水平距離、そして A. G. は区間平均勾配を表す。なお、測量時に勾配の大きな変換点をチェックし、歩行調査時に時間測測を行うこととした。これら変換点は、図中に英小文字で示した。

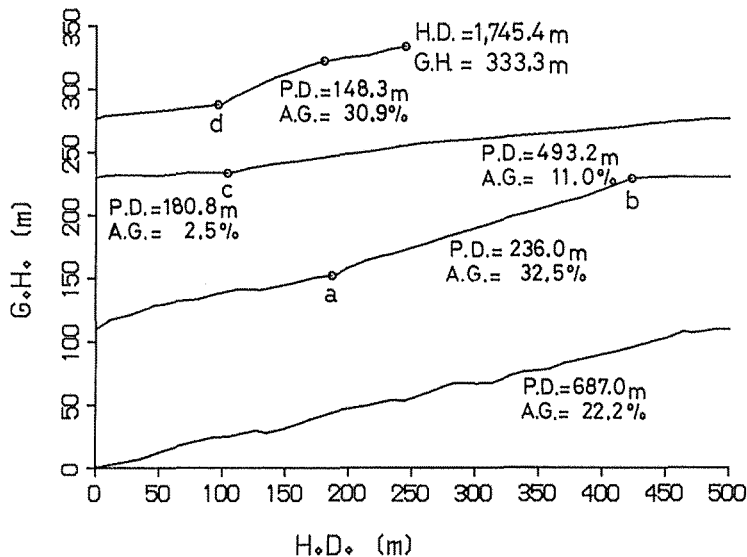


図-1 ヒノキプロット歩行経路縦断地盤図

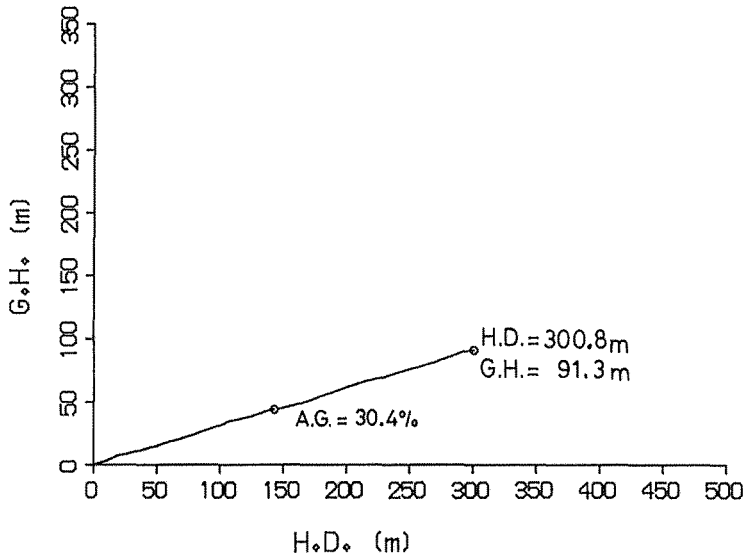


図-2 スギプロット歩行経路縦断地盤図

調査はヒノキプロットで二日間（一日目，二日目），スギプロットで二日間（三日目，四日目）それぞれ行った。なお心拍データの観測漏れがあったのでそれぞれ一日ずつ（五日目）追加調査を行った。

被験者は，和歌山演習林職員から三名を選んだ。その身体的データと山林労働の経験年数を表-1に示す。

通勤歩行の際には，表-2に示すような三種類の負荷を被験者に与えた。その割り付けを表-3に示す。なおヒノキプロットへ登りの時は，負荷があまりに大きくなりすぎるので，枝打機の設定をしなかった。

心拍数は，ハートメモリーという装置を使い三電極による胸部誘電法で記録した。このハートメモリーは，2048バイトの記憶容量を持つICを内蔵し，15秒，30秒，60秒等測定間隔を任意に

表-1. 被験者の身体データ

被 験 者	A	B	C
年 齢	45才	44才	38才
身 長	162cm	167cm	166cm
体 重	60kg	53kg	52kg
森林作業の経験年数	21年	28年	13年

表-2. 負荷の種類

負 荷	リュック	ハシゴ半	ハシゴ全	ヤマビコ
記 号	○	◇0.5	◇1.0	△
内 容	弁当・水筒 道具一式他	リュック 2mハシゴ	リュック 4mハシゴ	枝打機 全装備重量
重 さ	約3kg	約6kg	約10kg	約40kg

表-3. 負荷の割り付け

被験者		A		B		C	
		行き	帰り	行き	帰り	行き	帰り
ヒノキ	1日目	ハシゴ全	リュック	リュック	—	リュック	リュック
	2日目	リュック	*ヤマビコ	リュック	リュック	—	—
	5日目	—	—	—	—	ハシゴ半	ハシゴ半
スギ	3日目	ヤマビコ	—	ヤマビコ	—	ハシゴ全	—
	4日目	ヤマビコ	ハシゴ全	—	—	ヤマビコ	ヤマビコ
	5日目	ヤマビコ	ハシゴ全	ハシゴ全	ヤマビコ	—	—

* 但しヤマビコ運搬はb-a区間まで。

設定できるようになっている。ちなみに15秒間隔で8時間32分の心拍数を測定でき、終日調査が可能になっている。本体は非常にコンパクトであり、被験者のベルトに装着しなれば差し障りなく作業ができる。調査終了後、専用インターフェースを用いて心拍データの書き出しができるようになっている。

調査に先立ち、被験者の心拍特性を確認するためのステップテストを2日間行った。1日めは、10-15-20-25-30回/分の順に5分間ずつ行い、2日めは、20-23-25-28-30回/分の順に5分間ずつ行った。このステップテストを始める前に各々5分間ずつ座姿勢による安静時心拍数も観測した。

調査手順は、朝作業に出かける前に被験者に電極を張りハートメモリーをセットし、終日腕時計による時間観測を行った。なお、歩行速度には制限をつけず、被験者が日常作業に行くのと全く同様の自由歩行とした。

3. 結 果

図-3から図-12に歩行時の心拍数変化を示す。図-3から図-6にはヒノキプロット行きの全6ケースの内の4ケースを、図-7、図-8にはヒノキプロット帰りの全5ケースの内の2ケースを、図-9から図-12にはスギプロット行きの全7ケースの内の4ケースをそれぞれ示してある。なお、

表-4. 平均心拍数と増加率、回復率（ヒノキプロット行き）

区 間		S	a	b	c	d	E		
A	1日目 リュック	+28.00 +15.2%	113.88 61.9%	117.33 63.8%	-32.00 -17.4%	94.67 51.5%	100.95 54.9%	113.45 61.7%	-36.00 -19.6%
	2日目 リュック	+32.00 +17.4%	106.92 58.1%	112.67 61.2%	-36.00 -19.4%	101.88 55.4%	113.50 61.7%	-40.00 -21.7%	
B	1日目 ハシゴ全	+46.00 +25.0%	132.83 72.2%	132.17 71.8%	-40.00 -21.7%	110.20 59.9%	126.00 68.5%	-36.00 -19.6%	
	2日目 リュック	+44.00 +23.9%	99.28 54.0%	108.00 58.7%	-48.00 -26.1%	80.00 43.5%	85.60 46.5%	108.00 58.7%	-44.00 -23.9%
C	1日目 リュック	+40.00 +21.3%	101.80 54.1%	104.77 55.7%	-52.00 -27.7%	90.36 48.1%	110.00 58.5%	-42.00 -22.3%	
	5日目 ハシゴ半	+40.00 +21.3%	103.58 55.1%	108.25 57.6%	-44.00 -23.4%	91.20 48.5%	118.67 63.1%	-54.00 -28.7%	

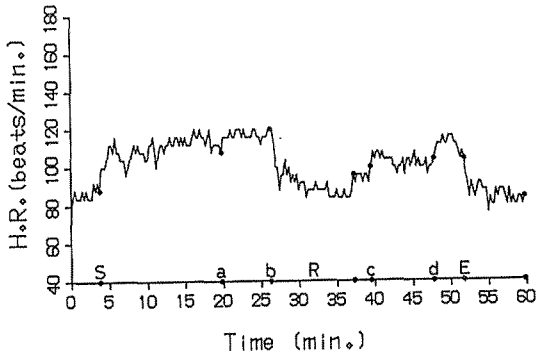


図-3 第1日目往路 (A氏)

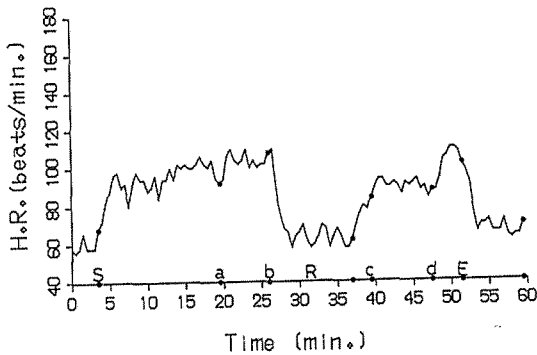


図-4 第1日目往路 (C氏)

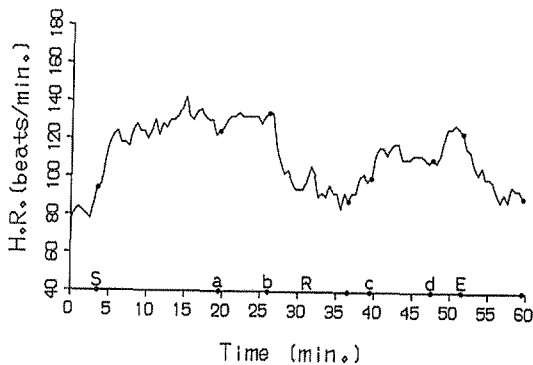


図-5 第1日目往路 (B氏 ハシゴ運搬)

表-5. 平均心拍数と増加率, 回復率
(スギプロット行き)

区 間		S		E
A	3日目 ヤマビコ	+40.00 +21.7%	128.50 69.8%	-44.00 -23.9%
	4日目 ヤマビコ	+56.00 +30.4%	118.46 64.4%	-52.00 -28.3%
	5日目 ヤマビコ	+62.00 +33.7%	120.80 65.7%	-46.00 -25.0%
B	3日目 ヤマビコ	+50.00 +27.2%	151.43 82.3%	-64.00 -34.8%
	5日目 ハシゴ全	+48.00 +26.1%	115.75 62.9%	-20.00 -10.9%
C	3日目 ハシゴ全	+54.00 +28.7%	133.33 70.9%	-74.00 -39.4%
	4日目 ヤマビコ	+52.00 +27.7%	132.80 70.6%	-68.00 -36.2%

表-6. ステップテストの心拍数

		安静時	最大	回復率
A	1日目	69.20 37.6%	180.00 97.8%	-60.00 -32.6%
	2日目	72.00 39.1%	152.00 82.6%	-60.00 -32.6%
B	1日目	74.00 40.2%	156.00 84.8%	-72.00 -39.1%
	2日目	68.67 37.3%	154.00 83.7%	-68.00 -37.0%
C	1日目	49.54 26.4%	176.00 93.6%	-104.00 -55.3%
	2日目	57.20 30.4%	166.00 88.3%	-86.00 -45.7%

スギプロット帰りの全4ケースの図は、割愛した。縦軸のH.R.は分単位に換算した心拍数、横軸のTimeは分単位である。又、図中のSは歩行開始、Eは歩行終了を、そしてRは休憩をそれぞれ意味する。なお、図中の英小文字はチェックポイントで図-1と共通記号である。

チェックポイントで区切られる各区間の定常状態の平均心拍数と、歩行開始後の増加心拍数及び歩行終了後ならびに休憩による歩行中断後の回復心拍数を表-4、表-5に示した。表中の上段には心拍数(拍/分)を、下段には年齢から換算した最大心拍数に対する割合を%表示してある。ちなみにA氏とB氏については184拍/分を、C氏については188拍/分を最大心拍数として使った。なお帰りのデータについては、特に顕著な傾向が見られなかったので、表の掲載を割愛した。

又、ステップテストにおける安静時心拍数と最大心拍数およびテスト終了後の回復心拍数を参考までに表-6に示した。なお、この表にも前記最大心拍数に対する割合をそれぞれ%表示してある。

4. 考 察

今回の調査では、長距離を歩行するヒノキプロットの場合と、比較的近距离で負荷の大きい歩行をするスギプロットの場合の2つについて、歩行者の心拍数変化を観測する事ができた。そこで、この心拍数変化について図-3から図-12を見ながら考察してゆくこととする。

まず、図-3から図-6のヒノキプロット行きの場合について見てみると、個人差と負荷による心拍数の違いはあっても全体の波形は極めて似た様相を呈している。これはヒノキプロット行きの場合にのみ限られる現象ではなくて、ヒノキプロット帰りの場合にも見られ、又、スギプロットの場合にもその傾向がある。このことは、被験者達がひとつのグループになって歩いているので、歩行速度等の条件が定格化されているからという事もひとつの理由として考えられる。しかし、C氏のヒノキプロット5日目の歩行は、全くの一人であるにもかかわらず心拍数の波形は特に変わったものにはなっていない。これらの事から、被験者達は長年通い慣れた道であるので、自ら歩行負担の少ない歩き方なり勾配に応じた適当な歩行速度を自然に身に付けているのではないかと推察される。この事は、後でもう少し詳しく考察する。

ヒノキプロット帰りの歩行については、下り歩行であるので図-7に見られるとおりの総体的に心拍数の変化が少なく、平均して20拍/分ぐらいの増加が見られたに過ぎなかった。又、スギプロット帰りの歩行についても同様であるが、歩行時間が平均4~5分と短かったので、心拍数変化は20~30拍/分程度の増加をピークとした山型となった。

次に、負荷による歩行負担について見てゆく。登り歩行の場合については図-5、図-6および図-11、図-12を比較してわかるとおり、前者はハシゴ運搬の方が、後者はヤマビコ運搬の方がそれ

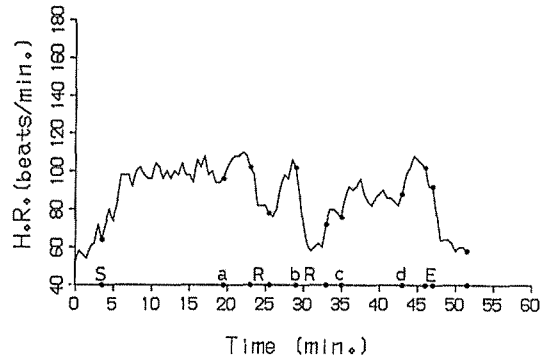


図-6 第2日目往路 (B氏)

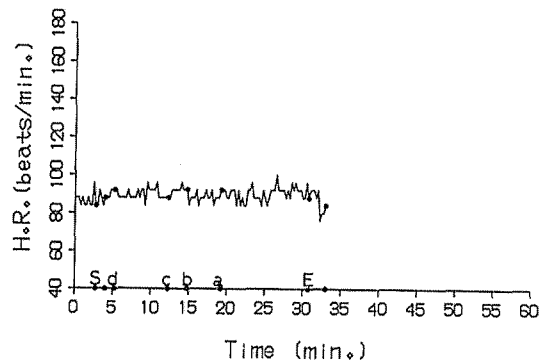


図-7 第1日目帰路 (A氏)

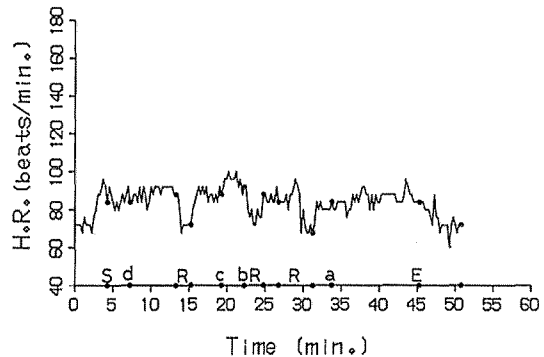


図-8 第2日目帰路 (A氏 ヤマビコ運搬)

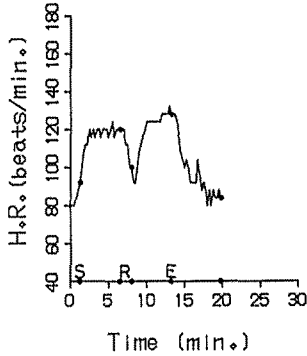


図-9 第3日目往路 (A氏 ヤマビコ運搬)

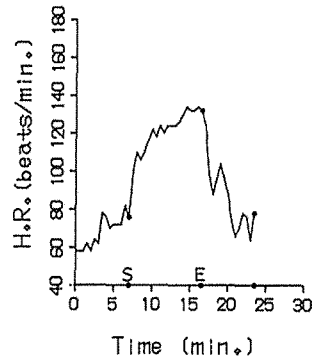


図-10 第4日目往路 (C氏 ヤマビコ運搬)

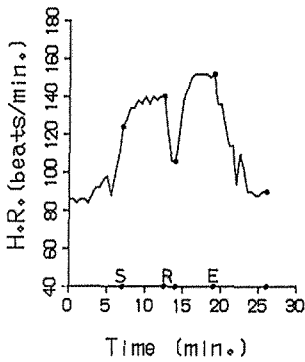


図-11 第3日目往路 (B氏 ヤマビコ運搬)

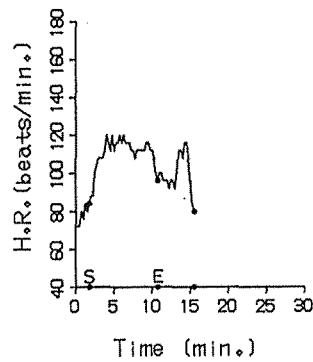


図-12 第5日目往路 (B氏 ハシゴ運搬)

それ他の場合に比べて心拍数のレベルは高くなっている。それに対して下り歩行の場合については図-7, 図-8を比較してわかるとおり, ヤマビコ運搬でもあまり顕著な差はみられなかった。ただ, 休息回数はリュックだけの時よりも多くなっている。以後リュックだけの場合を無負荷として扱う。

このような通勤歩行の場合に心拍数に影響を与える要因として, 歩行速度, 歩行勾配, それに歩行の際の負荷はもちろん, 被験者の年齢や体重なども重要であると考えられる。しかし, 心拍数に直接的な変化をもたらす要因としては, 歩行速度, 勾配, そして負荷の3つであると思われる。これからはこの3つの要因を中心に考察を進めてゆきながら, その他の要因についても触れてゆく事とする。

まず, 歩行速度については全くの自由歩行をさせたわけであるが, 先にも述べたとおりそこにはなにかしら一定

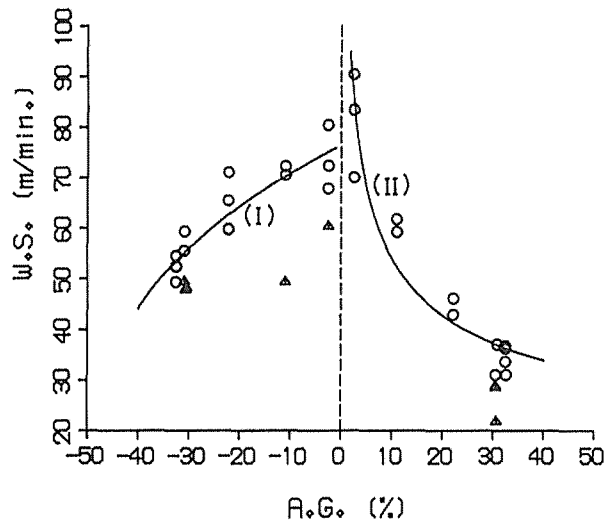


図-13 平均勾配と歩行速度の相関グラフ

の歩き方というものが無意識下において存在している様に思われる。そこで、チェックポイントで区切られる各区間の平均勾配と平均歩行速度の間の相関をグラフに取って図-13に示した。縦軸の W. S. は平均歩行速度であり、横軸の A. G. は平均勾配である。図中の○印はリュックかハシゴを持った場合を表し、△印はヤマビコを背負った場合を表す。この図の○印の配列を見ると明らかに平均勾配と歩行速度の間に極めて有意な相関がある。しかも平均勾配の0%を境にして2つの指数関数的な相関がある。この回帰式を○印のデータから求めると次式のようにになった。

回帰式 I

$$\text{Log W. S.} = 3.0081 + 0.3393 * \text{Log (A. G. + 50)}$$

回帰式 II

$$\text{Log W. S.} = 4.7657 - 0.3366 * \text{Log A. G.}$$

回帰式 I では、勾配が急になる程歩行速度が下がっている。これは急勾配である程足場の確保に、より多くの気を使わなければならず、このため歩行速度が落ちるのではないかと考えられる。又、回帰式 II では、勾配が急になる程歩行速度は指数関数的に下がってゆく。これは後にも述べるとおり、心拍数から見た歩行負担が急勾配になる程増加しており、この影響を受けているものと思われる。ちなみに、平均勾配と歩行速度のこのような非直線的回帰は前報²⁾において予想したとおりであった。又、この図から平均勾配の緩い所で歩行速度は広い変動幅を持つが、平均勾配が急になるに従って歩行速度の変動幅が狭くなる傾向が見受けられる。このことから自由歩行をしている被験者達が負担の少ない歩き方を自然に求めるために、歩行負担の多くなる傾斜地ではある一定の歩行速度に近寄ってくる事がわかる。

次に歩行速度に対する負荷の影響を見てみると、登り勾配では30%近くの所でヤマビコを背負っている場合の方が10~20 m/分遅くなっている。一方、下り勾配では勾配が急である程歩行速度の差が少なくなる傾向が見られた。残念ながらデータ数が少なくてヤマビコを背負った場合の回帰式を求める事はできなかったが、負荷のある場合の歩行速度の傾向として次の様な事が言える。

すなわち、登り勾配では勾配が急になるに従って負荷のない場合の歩行速度との開きが大きくなり、下り勾配では重力の影響もあって勾配が急になる程負荷のない場合との開きが小さくなっていく。

以上自由歩行をさせた結果、平均勾配との間に有意な指数回帰関係の存在する事がわかった。このことは、歩行速度が平均勾配によって極めて大きな影響を受けていることを示しており、本解析においては平均勾配と負荷の2つの要因が歩行負担に直接的で大きな影響を与えていると考えられる。

さて、平均勾配がどのような歩行負担を被験者達に与えているのか、心拍数データから考察してみよう。

図-3~図-12を見ると心拍数は歩行

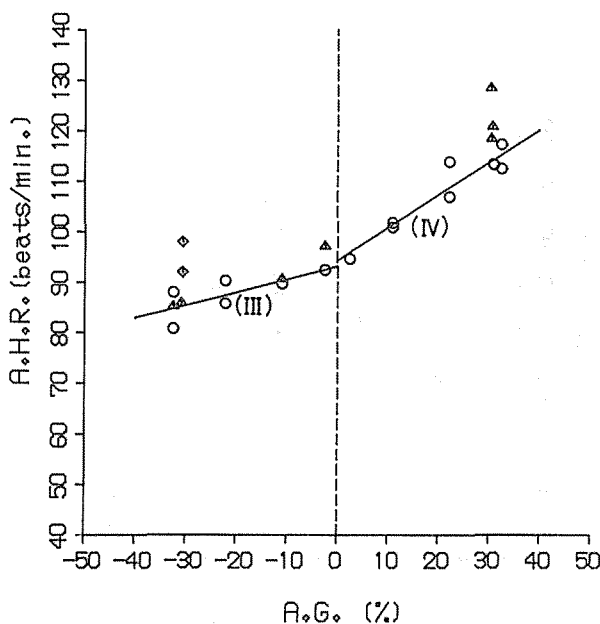


図-14 平均勾配と平均心拍数の相関グラフ (A氏)

開始後無限に上昇を続けるのではなく、ある所まで上昇すると横ばいの状態になる。この状態を定常状態と称して、本解析ではこの平均心拍数を考察に使うこととする。なお表-4、表-5の平均心拍数もこれと同じである。この定常状態はチェックポイントで区切られる各区分において、様々な異なる値を取っており、平均勾配の影響をかなり受けているものと図から判断できる。そこで、各区分における平均勾配と定常状態の平均心拍数の間の相関を調べた。被験者各人のその相関グラフを図-14から図-16に示す。縦軸のA. H. R. が定常状態の平均心拍数であり横軸のA. G. が平均勾配である。図中の◇印はハンゴを持った歩行を表し、その他の記号は図-13に同じである。これらの図より個人差はあっても、○印の分布にはある直線関係が見受けられる。これらの回帰式を求めたものを以下に示す。

A氏：回帰式Ⅲ

$$\text{A. H. R.} = 0.2574 * \text{A. G.} + 93.1317$$

A氏：回帰式Ⅳ

$$\text{A. H. R.} = 0.6506 * \text{A. G.} + 94.2138$$

B氏：回帰式Ⅴ

$$\text{A. H. R.} = 0.2520 * \text{A. G.} + 65.0116$$

B氏：回帰式Ⅵ

$$\text{A. H. R.} = 0.9922 * \text{A. G.} + 76.5109$$

C氏：回帰式Ⅶ

$$\text{A. H. R.} = 0.1086 * \text{A. G.} + 84.9892$$

C氏：回帰式Ⅷ

$$\text{A. H. R.} = 0.7896 * \text{A. G.} + 82.6625$$

ところで、運動生理学の文献^{2,3)}によると、トレッドミルによる室内実験で勾配と歩行速度を変化させた場合に、心拍数は指数関数的に増加してゆくと報告されている。このような現象は図-3

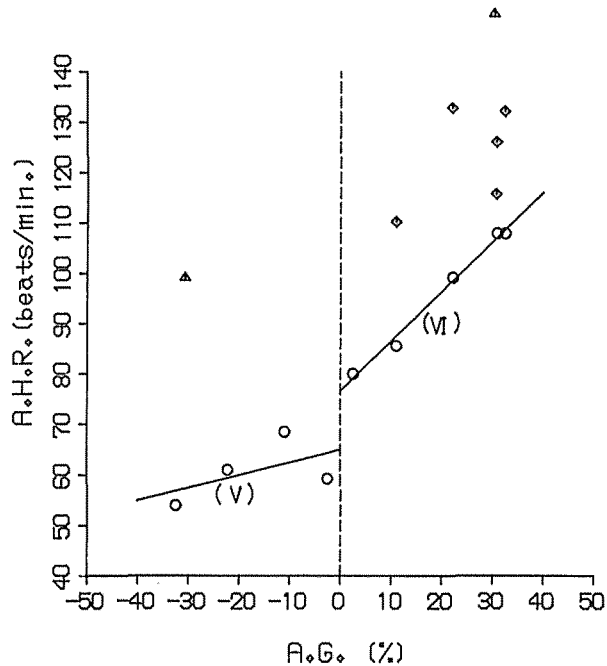


図-15 平均勾配と平均心拍数の相関グラフ (B氏)

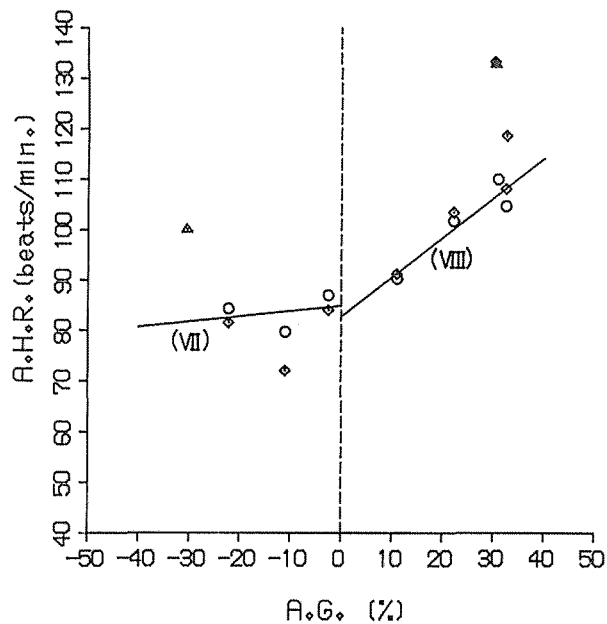


図-16 平均勾配と平均心拍数の相関グラフ (C氏)

～図-12で歩行開始後の心拍数が増加してゆく経過に確かに見ることができる。しかし、平均勾配と平均心拍数の間の回帰関係には見ることができなかった。この理由としては、この調査では自由歩行をしているので、勾配が変化すると共に歩行速度も楽な方に変化しているのではないかと考えられる。山林労働者達は毎日山に通勤しているのであるから、決してひどく疲れる様な歩き方はしないものと思われる。それ故に、これらの回帰式が直線回帰であるということは、一方で現実の自由歩行というものの歩行負担をごく自然に表しているのではないかと考えることもできよう。

これらの回帰式を見ると、登り勾配の方が下り勾配よりも心拍数の増加がきついことがわかる。これは図を見ても明らかな事であるが、下り歩行の場合は歩行負担が小さく、あまり問題がないと言えそうである。なお、下り勾配では急勾配の心拍数の方が平坦地のものより少なくなっている。これは、勾配の急な所では、足場の確保に気を配らなければならない反面、前述のとおり歩行速度が遅くなり、また重力の影響もあって、結果的に歩行負担が少なくなったものと思われる。

次に、負荷の影響について見てゆくと、これも図からわかるとおりかなりの個人差がある。A氏の場合は負荷の影響が極めて少なく、登りのヤマビコ運搬時でもせいぜい5～15拍/分の増加しか見られなかった。又、下りにおいては全く変化が見られなかった。それに対してB氏とC氏の場合は負荷の影響が大きく、特にB氏の場合が顕著であった。B氏の場合は、登り勾配のハシゴ全運搬で約20拍/分の増加、ヤマビコ運搬で約45拍/分もの増加となっている。これは下りのヤマビコ運搬でも同様であった。C氏の場合は、ハシゴ半の運搬で、特に変化は見られなかった。ヤマビコ運搬では、登り下り共に20～25拍/分の増加となっている。負荷に対する個人差の現れる理由としては、年齢、体力および体格等が考えられる。表-1を見るとB氏とC氏は同じような痩せた体格であるのに対して、A氏はがっしりとした体格である。この体格の違いが同じ負荷を与えられた場合に個人差となって現れるのではないかとと思われる。又、B氏とC氏の違いとしては、年齢が6才程離れておりこの影響も考えられる。

さて、これまで心拍数から歩行負担について考察を進めてきたのであるが、個人差がかなりある上に心拍数自体を見ても果たしてどのくらいの生理的負担であるのか具体的にわからない。ところで、この生理的負担を数量的に計る尺度として、運動生理学の分野で信頼されている酸素摂取水準(% of VO_2 MAX)という指標がある。これは最大酸素摂取量(VO_2 MAX)に対するその時点の酸素摂取量の割合のことで、これによって生理的な最大能力に対するその時点の負担の度合いが%表示される。この最大酸素摂取量とは、被験者がオールアウト(すなわち完全にバテてしまう状態)になるまで運動負荷を加えた場合の、その寸前の酸素摂取量のことである。しかし、最大酸素摂取量を計るためには呼気を採取しなければならず、その装置がまだコンパクトなものではないので今回のような野外調査においては計測困難である。ところが、この% of VO_2 MAXという指標は心拍数と非常に高い直線関係を持っていることが明らかにされている⁴⁾。これによってオールアウト時の最大心拍数さえわかれば、それに対する各時点の心拍数の割合(% of H. R. MAX)を%表示で求めることで、% of VO_2 MAX と全く同様に運動負担の指標として使う事ができる。

この調査では被験者の心拍特性を調べるために、ステップテストを2回行った。その時計測された最大心拍数は表-6に示した。しかし、ステップテストではオールアウト状態にすることが難しく、現に1日目のステップテストの30回/分ではほとんどアンダーペースであった。それ故に、このステップテストの最大心拍数を真の最大心拍数として扱うことには疑問が残る。ところで、最大心拍数というものは年齢によってある一定の値が決まっているという報告がある⁴⁾。これによると、『個人の最大酸素摂取量(最大能力)は異なっても、年齢に差がないならば、心拍数の

上限にはほとんど差がなく、心拍数が同じ時は身体に同じ負担がかかっていると考えてさしつかえない。』と書かれている。そこで本解析では、被験者達の年齢によって、A氏とB氏には184拍/分を、C氏には188拍/分を最大心拍数⁹⁾として用い、歩行負担の評価をすることとした。この最大心拍数に対する % of H. R. MAX を求めて、表-4～表-6の下段に示した。なお、表-5でC氏の3日目ハシゴ全運搬の平均心拍数が極めて高く、70.9%の歩行負担になっているが、これは歩行速度が 31.1 m/分と30%の登り歩行としては他のものよりもはるかに速くこの影響ではないかと考えられる。表-6のステップテストにおける最大心拍数を見ると、A氏が98.9%、B氏が85.7%、C氏が93.6%であり、A氏とC氏はほぼオールアウトに近い状態になっていた事がうかがえる。

さて、この指標を用いて図-14から図-16を見ながらもう一度考察を試みよう。まず、回帰式Ⅲ～Ⅷから平坦地の歩行負担を求めると、A氏が51.2%、B氏が41.6%、C氏が44.0%であった。個人差はあるが、大体40～50%の歩行負担で平坦地を歩いていると言える。登り勾配の歩行負担では、30%の勾配でA氏が61.8%、B氏が57.8%、C氏が56.6%であり、大体55～60%の歩行負担であるということになる。又、下り勾配では、A氏が50%以下、B氏が40%以下、C氏が50%以下であったので、歩行負担は総体的に50%以下であると言える。

次に、負荷による影響を見ると、登りのヤマビコ運搬ではA氏が10%までの増加で65～70%、B氏が25%近くの増加で83.2%、C氏が約13%の増加で70.6%の歩行負担であった。これは、かなりの歩行負担であると言えよう。これが下り歩行では、A氏はほとんど変化がなく、B氏は22%近くの増加で65.2%、C氏は約10%の増加で53.2%の歩行負担であった。又、登りのハシゴ全運搬ではB氏が5～15%で、ハシゴ半運搬ではC氏が0～5%の負担増加であった。

ところで、普通の歩行の運動強度は 30～45% of VO_2 MAX である⁹⁾と言われており、本解析の平坦地と下り勾配の歩行負担はA氏を除いてよく適合している。しかし、登り勾配歩行となると30%勾配で55～60%までになり、運動強度のかなり増えていることがわかる。人間の運動には生理学上、有酸素的運動と無酸素的運動の2つがある。歩行はもちろん有酸素的運動であるが、運動強度があまりに大きくなると無酸素的運動ともなりえる。無酸素的運動が多くなると筋肉中の乳酸発生量が多くなり、それだけ疲労も増して、回復に時間がかかることとなる。従って、通勤歩行においては当然のことながら有酸素的な運動強度の範囲内に留められるべきである。この有酸素的な運動といえる限界は 60% of VO_2 MAX 以下である⁹⁾と報告されている。このことから前述の歩行負担を評価すると、30%までの登り勾配であるならば有酸素的運動と考えられる。しかし、登りのヤマビコ運搬では65～83%にまで歩行負担が増して、無酸素的運動がかなり多くなっていると考えられる。それ故に、ヤマビコの運搬は下り歩行が望ましく、たとえ登り歩行をすとしてもできる限り近距離に留めるべきであると思われる。この距離としては、図-9～図-11にもみられるように歩行開始後2～3分程で 60% VO_2 MAX 以上の歩行負担に達していることから、歩行速度を 30 m/分としても 50～100 m 以内が限界ではないかと考えられる。それによってヤマビコの効率的な利用が可能となろう。

5. ま と め

本解析を通して次の様な事が確認できた。まず、自由歩行をさせた場合、平均勾配と歩行速度の間に有意な指数回帰関係があり、平均勾配 0%を境にした2つの回帰式が得られた。歩行速度が歩行負担に与える影響はおそらく大きなものであろうと考えられ、実際にその例はC氏の3日目の登り歩行に見られた。しかし、それ以外の場合はこの2つの回帰式に見られた様に平均勾配

に従って、無理のない歩行速度をとっている様であった。この事から自由歩行の場合は、歩行速度よりもむしろ平均勾配の方が歩行負担により直接的で大きな影響を与える主要因ではないかと考えられた。又、負荷による歩行速度への影響も大きく、30%登り勾配でヤマビコを運搬する場合 10~20 m/分の減速を生じた。

次に、平均勾配と定常状態の平均心拍数の間の相関を各個人別に調べると、いずれにも直線回帰関係がみられ、平均勾配0%を境に各々2つの回帰式を得た。これらには体力、体格、年齢の違いによる個人差がかなりみられた。そこで、% of H. R. MAX という指標を使って歩行負担を数量的に評価する事とし、最大心拍数を年齢から求めて、A氏とB氏は184拍/分、C氏は188拍/分とした。又、60% of VO₂ MAX 以下が有酸素的運動であると言われている。この指標を用いて考察すると、平坦地の歩行では40~50%、30%の登り勾配歩行では55~60%、下り勾配では50%以下の歩行負担であった。これらの数値から30%の登り勾配歩行までであるならば、有酸素的運動であるとわかった。

負荷による影響では個人差がかなり見られた。下りのヤマビコ運搬では0~22%の増加で45~65%の歩行負担であり有酸素的であるといえる。登りのハシゴ全運搬では5~15%の増加で60~70%になり少し無酸素的な負担が多くなっているが、ハシゴ半運搬では0~5%程度の増加に過ぎなかった。一方登りのヤマビコ運搬では、30%の勾配で3~25%の増加となり65~83%の歩行負担になった。これは、かなりの無酸素的運動となっていると考えられた。

これらの事よりヤマビコの効率的な利用には、下り運搬が望ましく、登り運搬をする場合には50~100 m 以内が限界であろうと推測できた。

さて、以上の考察を踏まえて通勤歩行の生理的負担についてまとめてみる。まず、本解析においては平均勾配の最大が32.5%であった。この範囲内の考察で果たして通勤歩行の生理的負担をどの程度解釈できるのであろうか。それには、通勤歩行をする際の平均勾配の一般的な範囲を知ることが必要である。ところで、通勤歩行をする場合に作業現場が比較的近い道路脇にある場合を除いて、ほとんどの場合は歩道を利用していると考えてよい。この歩道の平均勾配は人間の個人差と同じく様々であるが、登り易くするために作設したものであるだけに、急勾配といってもある限度が存在するものと考えられる。そこで、これを地形急峻な和歌山県と滋賀県東部のデータから求めてみると、部分的に50%を越える急勾配もあるが、大体において40%前後以下に集中しているようであった。それでは、40%の登り勾配ではどのくらいの歩行負担になるのであろうか、回帰式から推察してみると60~65%となった。この値は60% of VO₂ MAX を少し越えてはいるが、有酸素的運動の限界として考えられよう。このことから、負荷の小さい自由歩行で、しかも歩道を歩行して通勤する場合は、有酸素的運動の範囲を出ないので、生理的負担は特に問題にならないものと考えられる。又、本解析を通して、小一時間という通勤歩行としてはきわめて長時間の歩行においても、生理的負担は特に問題にならないと確認された。今回の調査で、小一時間に1750 m 歩行している事を考えると、3 m/ha 未満の林道密度であっても、通勤歩行の生理的負担の面からは何ら問題がないと言える。しかし、これに負荷が加わった場合は、生理的負担が急激に増加してゆく。負荷が6 kg 以下の場合は0~5%の増加に留まるが、10 kg では5~15%、40 kg では3~22%の増加となり無酸素的運動の多い域に入ることとなる。又、10 kg 以上の負荷の場合は特に生理的負担が大きくなるので、長時間歩行することは非常に困難になってくる。今後、このような負荷と歩行限界については実験等によって明らかにしてゆく必要があり、それによってより効率的な作業手順なり、より適正な道路密度と道路配置を模索してゆくことができよう。

引用文献

- 1) Y. YAMADA and I. SASAKI: Survey and analysis of the actual condition of the walking time from the road to the working spot. *Bulletin of the Kyoto University Forests*. 56: 198-209, 1984
- 2) A. C. Bobbert: Energy expenditure in level and grade walking. *J. Appl. Physiol.* 15: 1015-1021, 1960
- 3) R. Margaria, P. Cerretelli, P. Aghemo and G. Sassi: Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18: 367-377, 1963
- 4) 猪飼道夫・山地啓司: 心拍数からみた運動強度, *体育の科学*, 21(9): 589-593, 1971
- 5) 阿久津邦男: ヒトの健康と歩行, *労働の科学*, 31(3): 34-39, 1976
- 6) C. H. Wyndham, N. B. Strydom, C. G. Williams and B. Rahden: A physiological basis for the optimum level of energy expenditure. *Nature* 195: 1210-1212, 1962

Summary

In order to make clear a physiological burden of forest workers in walking, we observed their heart rate through the day by the heart memory in the kyoto university forest wakayama. We set up a free walk as the walking speed, and four loads; 3 kg, 6 kg, 10 kg and 40 kg. As a result of this analysis, in case of the uphill walking under 30% with the load under 6 kg, the walking burden is 55-60%. This is under 60% of VO_2MAX , so we understand it the aerobic exercise. According to this, we can suppose that there is little problem on a physiological burden of walking with the load under 6 kg. But in case of 30% uphill walking with 10 kg load, the burden is 60%-70%, and with 40 kg load is 65%-83%. Particularly in case of 40 kg load, we can consider that there is much anerobic exercise, so the physiological burden is supposed very severe. According to this in case of uphill walking with 40 kg load, we advise that the walking distance ought to be under 50-100 m. While in case of downhill walking, there is no problem on a physiological burden. And we obtained the exponential recurrence between the walking speed and the average gradient.