

心拍数からみた山林労働者の歩行負担(2)

(京都大学和歌山演習林における実験例)

山 田 容 三

A burden of forest workers in walking by the heart rate (2)

—Study cases of the kyoto university forest wakayama—

Youzou YAMADA

要 旨

山林労働者が通勤歩行する際の生理的負担を調べるために、京都大学和歌山演習林において歩行実験を行った。その結果、0 kg～30 kgまでの10 kg負荷毎に歩行速度と平均勾配の四次元回帰式(1)～(4)を得た。又、有酸素的運動の範囲を心拍水準の80% of max HR を指標として評価を行ったところ、下り歩行については-60%以下の様なきつい平均勾配の下り歩行を除いて、生理的負担は問題がないと予測された。一方、上り歩行において有酸素的運動の範囲は0, 10 kg負荷で平均勾配約20%以下, 20, 30 kg負荷で平均勾配約10%以下である事が予測された。そして、物理的負担量から定常状態のなくなる限界を解析したところ、0 kg負荷で平均勾配約35%, 10 kg負荷で平均勾配約30%, 20, 30 kg負荷で平均勾配約25%であると予測され、これ以上の平均勾配、又は負荷のある場合には下り歩行が望ましいと推察された。

1. は じ め に

山林労働者が通勤歩行する際の生理的負担を調べるために、前報¹⁾においては通勤歩行の現況調査を行い、IC 内蔵のハートメモリーを利用して歩行中の心拍数変化を測定した。その解析の結果、歩道の平均勾配と平均心拍数の間には、平均勾配0%を境とした上り下りそれぞれに直線回帰傾向が見られた。

そこで、今回は心拍数、平均勾配、負荷、そして歩行速度の間の関係をより詳しく調べるために歩行実験を計画した。前報と同様に実験中の心拍数変化を測定する事によって、通勤歩行が有酸素的運動の範囲で行われているかどうか解析してゆく。

ところで、運動を開始すると心拍数は増加してゆき、その運動強度に対応した心拍数に至ると一定状態となる。これを定常状態と呼び、解析にはこの平均心拍数を最高心拍数で%表示した心拍水準(% of max HR)を指標として用いた。

なお、この研究は昭和60年度科学研究費(奨励研究(A))の助成を受けて行ったものである。

又、本実験に多大な御協力を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、常に親身な御指導を賜った佐々木功先生、本学演習林山本俊明助教授、本学農学部瀧本義彦先生、本

学教養部田口貞善助教授に厚くお礼を申し上げます。

2. 実験方法

実験は、京都大学農学部附属和歌山演習林において行う事とした。実験を設定する際の要因項目とそのカテゴリー分けを表一1に示す。

表一1 要因項目とカテゴリー分け

要因項目	カテゴリー
被験者	A氏, B氏, C氏
平均勾配	2%, 9%, 28%, 67%
負荷	0kg, 10kg, 20kg, 30kg
動機づけ	ゆっくり, ふつう, 急いで

表一2 被験者のデータ

被験者	年齢	体重	身長
A氏	50才	57.0kg	163.0cm
B氏	39才	55.0kg	165.0cm
C氏	36才	72.0kg	169.5cm

まず、被験者はいずれも京都大学和歌山演習林職員又は時間雇用職員であり、10年以上の森林作業経験を持つ熟練者である。彼らの個人的データを表一2に示す。この表に見られるとおり、A氏は年齢が、C氏は体重がそれぞれ大きく、又、B氏はマラソンによりかなり鍛練された生理的能力を有している。

平均勾配については、2%と9%コースが水平距離で200m、28%コースが150m、そして67%コースが50mの平均勾配であり、各コースには水平距離で50m毎に時間観測点を設けた。

負荷は鉛玉の重りを布袋に入れ、それを背負い子に取り付けて与えた。但し、67%コースの上りにおいては、20kg及び30kgの負荷は大きくなりすぎる可能性があるので、0kgと10kgの負荷についてのみ行った。

歩行速度については、原則として被験者が歩きやすいいつものペースとし、いわゆる自由歩行とした。これは表一1の動機づけの要因の中の「ふつう」に該当する。これと比較して「ゆっくり」と「急いで」の二つの動機づけを設定した。但し、これは2%と9%コースの0kg負荷の場合にのみ設定する事とした。

表一3 実験要因の組み合わせ

コース	上り	下り
2%	0kg, 10kg, 20kg	ゆっくり, 急いで, 30kg
9%	ゆっくり, 急いで, 0kg, 10kg, 20kg, 30kg	ゆっくり, 急いで, 0kg, 10kg, 20kg, 30kg
28%	0kg, 10kg, 20kg, 30kg	0kg, 10kg, 20kg, 30kg
67%	0kg, 10kg	0kg, 10kg, 20kg, 30kg

以上の4つの要因の組み合わせを、上り下りそれぞれに設定した。但し、2%コースについては、上り下り合せてひとつの組み合わせとして処理した。これらの組み合わせを表一3に示す。

実験に際しては、コースの始点、終点、及び50m毎の観測点に時間観測者を置き、被験者の通過時間を測定した。被験者は一人ずつ歩行する事とし、次の歩行までに5分以上の座姿勢による休息を取るようにした。

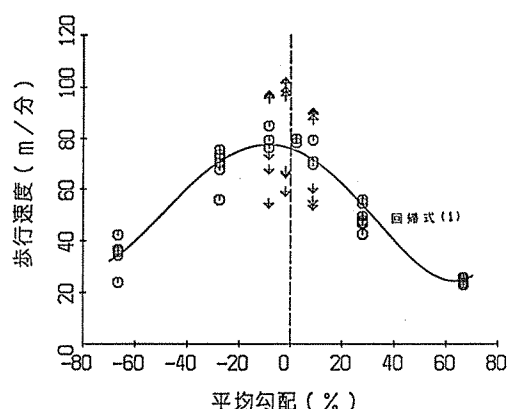
心拍数の測定には、前報¹⁾と同じくハートメモリーを用いた。但し、この実験では10秒毎の間隔で心拍数を記録する事とし、このデータをマイコン内で6倍して1分間の値とした。

又、被験者の生理的特性を調べるために、自転車エルゴメーターテストを行った。自転車エルゴメーターテストは、回転数を50rpmとし、初期値を0KP（キログラムポンド）、その後2分毎に0.5KPずつ負荷を上げる方法²⁾を用いて、これ以上運動が続けられないという状態になる

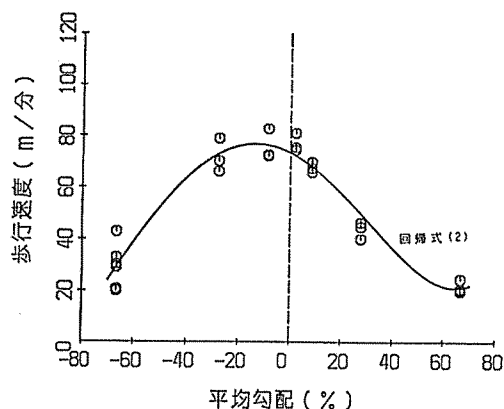
まで測定を行い、最高心拍数を求めた。

3. 歩行速度の四次元回帰式

この歩行実験によって、上りが57ケース、下りが56ケースの計113ケースのデータを得る事ができた。歩行速度と平均勾配の0kgと10kg負荷の場合の相関図を図一1、2に示した。この図は



図一1. 歩行速度と平均勾配の相関図 (0kg負荷)



図一2. 歩行速度と平均勾配の相関図 (10kg負荷)

縦軸に歩行速度 (m/分) を、横軸に平均勾配 (%) を取って、各測点を○印で表示してある。なお、平均勾配 0 % の所には破線を入れ、プラス表示は上り勾配を、マイナス表示は下り勾配を示している。これらの図からわかる通り、3人の被験者による自由歩行のデータであるにもかかわらず、個人差があまり現れていない。個人差等による歩行速度のバラツキは、全般的に下り勾配より上り勾配の方が少なく、平均勾配28%以上の上りではかなり少なくなっている事が確認できる。又、平均勾配と歩行速度の間には、非直線的相関がある事がわかる。

このいびつな山型を呈している歩行速度と平均勾配の相関をより忠実に回帰するために高次回帰分析を行った。その結果、四次元多項式による回帰でかなりの高相関を得たので、回帰式を以下に示す。なお、負荷が20kgと30kgの回帰式については平均67%の上りデータがないので、10kg負荷のデータの平均値を元に調整した仮の値を加えて計算を行った。

回帰式(1) 0 kg負荷 ($r=0.9544$)

$$V = 76.1030458 - 0.3550982 * G^1 - 0.0193438 * G^2 \\ + 0.0000641 * G^3 + 0.0000020 * G^4$$

回帰式(2) 10kg負荷 ($r=0.9618$)

$$V = 73.4735339 - 0.4928446 * G^1 - 0.0166372 * G^2 \\ + 0.0000980 * G^3 + 0.0000013 * G^4$$

回帰式(3) 20kg負荷 ($r=0.9837$)

$$V = 69.1852999 - 0.4946834 * G^1 - 0.0160617 * G^2 \\ + 0.0000875 * G^3 + 0.0000014 * G^4$$

回帰式(4) 30kg負荷 ($r=0.9482$)

$$V = 66.1204054 - 0.4525367 * G^1 - 0.0183261 * G^2 \\ + 0.0000792 * G^3 + 0.0000018 * G^4$$

但し、V:歩行速度 (m/分) G:平均勾配 (%)

これらの回帰式の極大値をそれぞれ計算すると、0%負荷の場合は平均勾配-9%で歩行速度が約78m/分、10kg負荷の場合は-14%で約77m/分、20kg負荷の場合は-14%で約73m/分、そして30kg負荷の場合は-12%で約69m/分となる。図-1、2に見られる通り、この平均勾配-10%近くの最大歩行速度をピークに前後20%ほどの幅は歩行速度の減少が少ないので、この範囲内の平均勾配で通勤歩行を行うようにすれば効果的であると考えられる。

但し、回帰式(1)~(4)は四次式であるため変曲点を3つ有しており、それゆえ極小値で囲まれる範囲内が有効範囲となる。その範囲は平均勾配で-80%~+60%の間であるが、歩道の歩行を対象にするにあたっては、これ以上の急勾配が平均勾配としてあり得ないと考えられるので、充分に実用に耐えうるものであると思われる。

又、図-1において半印で表示したものは動機づけを「急いで」とした場合のデータであり、半印は「ゆっくり」とした場合のデータである。これより、「急いで」の場合は上り下り共に16~20m/分程自由歩行より速くなっており、「ゆっくり」の場合は下りで15m/分程、上りで17m/分程自由歩行より遅くなっている。

4. 平均心拍数による解析

この歩行実験によって、全99事例の心拍数のデータを得た。そして、各事例について定常状態のあるものはその平均心拍数を求め、又、定常状態のないものは歩行中の最大心拍数を平均心拍数の代わりとした。又、自転車エルゴメーターテストの結果を表-4に示す。

本報ではこの表-4の最高心拍数を用いて、99事例の定常状態の平均心拍数データから心拍水準(% of max HR)を計算し、生理的負担の解析を進める事とする。まず、平均勾配と負荷の影響を見るために相関図を作り図-3~図-5に被験者別に示した。図は縦軸に% of max HRをとり、横軸に平均勾配(%)をとって、平均勾配0%に破線を表示した。図中の×印は0kg負荷、+印は10kg負荷、○印は20kg負荷、□印は30kg負荷をそれぞれ示しており、又、動機づけの「急いで」を半印で、「ゆっくり」を半印で表示している。図-3~図-5を比較するとかなり個人差が見られるものの、A氏とC氏はよく似た傾向を示している。B氏は、他の2名と比べて全体的に約15% of max HR ちかくも低くなっており、特に上り歩行においては変化の傾向も異なっている。これはB氏がよくトレーニングされた体の持ち主であり、その生理的能力の差が

表-4 自転車エルゴメーターテスト

負 荷 KP	平均心拍数(拍/分)		
	A 氏	B 氏	C 氏
0.0	93.00	85.00	78.50
0.5	99.00	88.50	86.00
1.0	108.00	112.50	98.50
1.5	118.00	129.50	112.50
2.0	129.50	148.00	123.50
2.5	145.71	162.50	136.00
3.0			149.00
3.5			157.20
最高心拍数	156.00	168.00	162.00
安静心拍数	66.00	54.00	66.00

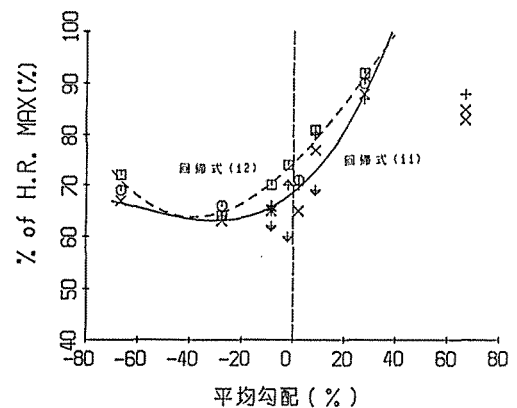
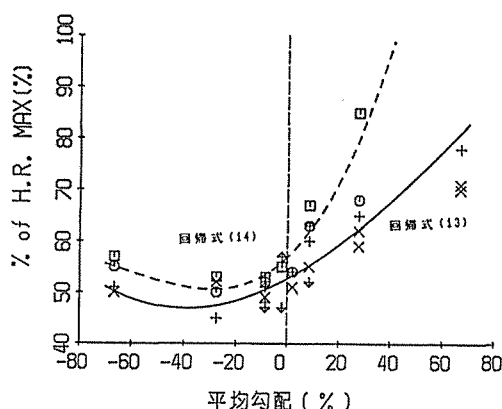
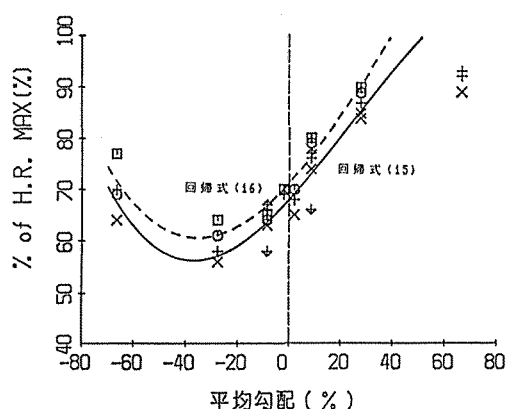


図-3. 平均勾配と心拍水準 (A氏)



図—4. 平均勾配と心拍水準 (B氏)



図—5. 平均勾配と心拍水準 (C氏)

現れたものと考えられる。そこで、B氏については鍛練者の例として、A氏とC氏については山林労働者の一般的な例として考察を進めてゆく事とする。

さて、数十分以上の運動を続ける場合には、有酸素的システムというものが中心になって生理的な運動エネルギーを供給する事になる。この有酸素的な運動能力には個人差があり、特に鍛練者か非鍛練者かによって大きな差が現れてくる。しかし、非鍛練者の一般人を対象とした場合に運動によるトレーニング効果が期待できるのは、酸素摂取水準（最大酸素摂取量を100とした時の酸素摂取量の%表示）で70% of max $\dot{V}O_2$ 以上だといわれている。³⁾ トレーニング効果というものは、楽に運動ができる範囲の強度では期待できないものであって、それゆえ、70% of max $\dot{V}O_2$ 以下の生理的負担であれば、有酸素的運動の範囲であると考えられる。この酸素摂取水準と心拍水準の間には高相関の直線関係があり³⁾、その推定式を用いると、有酸素的運動の範囲は約80% of max HR 以下となる。又、Bink⁴⁾ は、疲労が出始めるまでの時間を労働の作業強度の許容範囲として次の式を示している。

$$\text{Log}_{10}(t) = \text{Log}_{10}5700 - 3.1 * (\% \text{ of max } \dot{V}O_2) / 100$$

但し、t: 疲労が出るまでの時間

この式から計算すると、80分の運動で60% of max $\dot{V}O_2$ 、40分で70% of max $\dot{V}O_2$ 、20分で80% of max $\dot{V}O_2$ となる。片道の通勤歩行時間は多くとも40分以内であると考えられるので、70% of max $\dot{V}O_2$ をひとつの指標とする意味があることになる。それゆえ、本報では、80% of max HR を有酸素的運動の限界指標として生理的負担の評価を進めてゆく事とする。

まず、下り歩行については、図—3～図—5にも見られるとおり、いずれの場合も70% of max HR 以下であり、有酸素的運動の範囲内にあると確認される。しかし、平均勾配-20～-30%あたりを最小に再び% of max HR が増加していく傾向が確認される。この理由としては、あまり急勾配になると重力方向の運動による物理的負担の軽減という効果よりも、体を支え足場を確保するという制動運動による生理的負担の方が増加してくるからではないかと考えられる。

次に、上り歩行については、B氏の場合は直線的な増加傾向が見られ、A氏とC氏の場合も平均勾配67%のデータを除けば、直線的な増加傾向がある。又、図—3～図—5よりこれらの直線的な関係は平均勾配-9%まで続いていることが確認される。そこで、平均勾配-10%を境に上り下り方向共に直線回帰分析を行った。但し、比較的近い変化をしている0kgと10kg、及び20kg

と30kgの2つの組み合わせについて解析を行った。

A 氏

0, 10kg 回帰式(5) $Y = 69.3339 + 0.640450 * X$ ($r = 0.963$)

20, 30kg 回帰式(6) $Y = 74.3144 + 0.606237 * X$ ($r = 0.968$)

B 氏

0, 10kg 回帰式(7) $Y = 52.3148 + 0.368468 * X$ ($r = 0.916$)

20, 30kg 回帰式(8) $Y = 57.4793 + 0.778419 * X$ ($r = 0.909$)

C 氏

0, 10kg 回帰式(9) $Y = 68.3159 + 0.608904 * X$ ($r = 0.969$)

20, 30kg 回帰式(10) $Y = 71.0565 + 0.695815 * X$ ($r = 0.985$)

但し, Y : % of max HR X : 平均勾配 ($X \geq -10\%$ で有効)

その結果と回帰式(5)~(10)を上を示す。このようにかなり高い直線相関が確認されたので、これらの回帰式から有酸素的運動の限界(80% of max HR)となる平均勾配を予測すると、0, 10kg負荷では、A氏が約17%, C氏が約19%となり、おおよそ平均勾配20%以内ならば楽な運動であることになる。一方B氏については、計算上75%の平均勾配まで有酸素的であるということになる。又、20, 30kg負荷では、A氏が約9%, C氏が約13%となり、B氏で約29%の平均勾配となる。このようにふつうの山林労働者にとって上り歩行は生理的負担が大きく、10kg以下の負荷でも平均勾配20%を越えるときびしい状態となり、これが20kg以上の負荷では平均勾配10%が限度となってくる。

では、この有酸素的運動の範囲を越える場合はどうなるのであろうか。定常状態はその運動強度に合わせて上昇し、又、ある運動強度以上になるとこの定常状態が現れなくなり、運動中にも心拍数の増加が続く事になる。心拍数が最高心拍数に近づいて来るといわゆる息切れの状態となり、これ以上の運動を続ける事が困難になってくる。生理的にも有酸素システムによる乳酸の分解が間に合わず、グリコーゲンシステムの無酸素的運動が多くなり、運動が強度の場合は筋肉中に乳酸が蓄積して、これ以上運動を続けられない状態になる。あまりに強度な運動の場合は、最高心拍数に達する前に動けなくなる事さえある。これ以上運動を続けられなくなると、息を静めるために、そして乳酸の分解を促進するために休息が必要となってくる。これが長時間の運動となると、何回も休息を取らなければならない。それゆえ、数十分以上に渡って運動を続けようとする場合、定常状態の現れないような運動強度では強すぎると考えられる。

負荷による影響については、回帰式(5)~(10)から平均勾配0%で3~5% of max HR程の違いが見られる外、回帰線の傾きはA氏を除いて重い負荷の方がきつくなっている。下り歩行と平均勾配9%以下の上り歩行においては、30kg負荷でも定常状態が現れているので、平均勾配との相乗効果があってある物理的負担量を越えると定常状態がなくなるのではないかと考えられる。

動機づけについては、「急いで」とした場合は上り歩行で約3~8% of max HR程度自由歩行の場合よりも多くなっているが、下り歩行では約0~4% of max HR程度の増加に留まっている。又、「ゆっくり」とした場合は、上り下り両方共に約3~8% of max HR程自由歩行の場合より少なくなっている。

ところで、図-3~図-5に見られるように、平均勾配-20%~-40%の間に心拍水準が最小となる最も生理的負担の少ない平均勾配が存在すると思われる。そこで、その平均勾配を推定するために三次多項式近似による回帰分析を試みた。その結果、高い相関を得たので、回帰式(11)~(16)を以下に示した。

A氏 負荷10kg以下 ($r=0.95035$) 回帰式 (11)

$$Y = 68.56336 + 0.40853 \cdot X + 0.00899 \cdot X^2 + 0.00005 \cdot X^3$$

A氏 負荷20kg以上 ($r=0.95756$) 回帰式 (12)

$$Y = 74.32545 + 0.50204 \cdot X + 0.00476 \cdot X^2 - 0.00003 \cdot X^3$$

B氏 負荷10kg以下 ($r=0.80745$) 回帰式 (13)

$$Y = 52.64062 + 0.27665 \cdot X + 0.00294 \cdot X^2 - 0.00001 \cdot X^3$$

B氏 負荷20kg以上 ($r=0.85485$) 回帰式 (14)

$$Y = 56.86498 + 0.48103 \cdot X + 0.01081 \cdot X^2 + 0.00006 \cdot X^3$$

C氏 負荷10kg以下 ($r=0.95168$) 回帰式 (15)

$$Y = 67.98270 + 0.55736 \cdot X + 0.00426 \cdot X^2 - 0.00006 \cdot X^3$$

C氏 負荷20kg以上 ($r=0.92513$) 回帰式 (16)

$$Y = 71.22014 + 0.55645 \cdot X + 0.00579 \cdot X^2 - 0.00004 \cdot X^3$$

但し, X:平均勾配 Y:% of max HR

これらの回帰式から% of max HR が最小となる平均勾配を求めて表一5に示す。表より平均

表一5 生理的負担が最小となる平均勾配

被験者	負 荷	平均勾配	心拍水準	被験者	負 荷	平均勾配	心拍水準
A 氏	10kg以下	-30%	63%	A 氏	20kg以上	-39%	64%
B 氏	10kg以下	-39%	47%	B 氏	20kg以上	-29%	51%
C 氏	10kg以下	-37%	56%	C 氏	20kg以上	-35%	60%

勾配30~40%の下り歩行において,最も生理的負担が少なくなると推定できる。歩道の平均勾配としてこの30~40% (17~22度)の勾配は,多く存在するのではないかと考えられる。しかも,先に述べたようにこれらの平均勾配は,有酸素的運動を越える範囲のものであるから,特に負荷の大きい場合は下り歩行を取り入れた通勤行程を考える価値があると思われる。

5. 物理的負担量からの解析

物理的負担量としては,ある重さ(kg)の物体を単位時間(分)あたりに鉛直方向へいくら動かした(m)かという指標(kgm/分)を用いる事とした。本報では,この指標を次の式で求めた。

$$\text{物理的負担量} = (\text{体重} + \text{負荷}) \times \text{標高差} / \text{歩行時間}$$

$$\text{又は, 物理的負担量} = (\text{体重} + \text{負荷}) \times \text{平均勾配} \times \text{歩行速度} / 100$$

すなわち,物理的負担量は,負荷,平均勾配,歩行速度,体重といった全ての要因を含んだ総合変数であるといえる。この式を用いて全データの物理的負担量を計算し,% of max HR との相関を図一6~図一8に示した。図は縦軸に% of max HR をとり,横軸に物理的負担量をとった。なお,物理的負担量が0kgm/分の所に破線を引き,マイナス表示が下り歩行を,プラス表示が上り歩行を意味する。図中の印については図一3~図一5と同様である。これらの図より,負荷や動機づけによる% of max HR の差が少なくなっている事がわかり曲線相関のある事がうかがえる。そこで,二次曲線による回帰分析を行ったところ有意な相関が得られた。その回帰式(17)~(19)を次に示した。

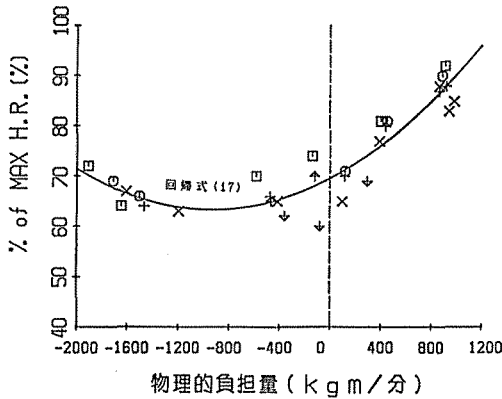


図-6. 物理的負担量と心拍水準 (A氏)

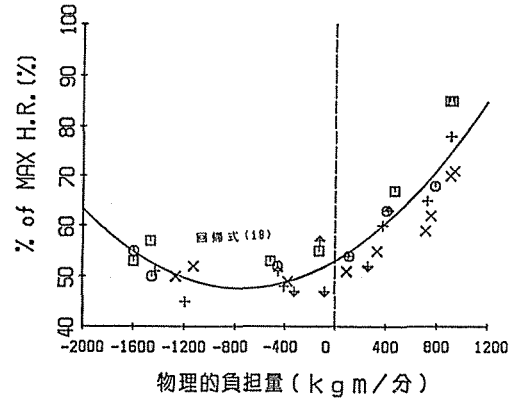


図-7. 物理的負担量と心拍水準 (B氏)

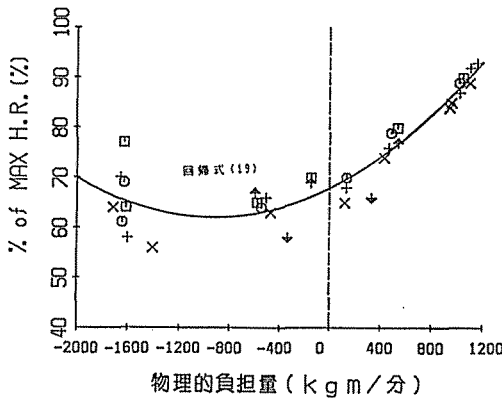


図-8. 物理的負担量と心拍水準 (C氏)

A氏 $(r=0.859)$ 回帰式 (17)

$$Y = 69.5644082 + 0.0134475 * X^1 + 0.0000072 * X^2$$

B氏 $(r=0.818)$ 回帰式 (18)

$$Y = 53.0060115 + 0.0146194 * X^1 + 0.0000099 * X^2$$

C氏 $(r=0.864)$ 回帰式 (19)

$$Y = 67.8885200 + 0.0127540 * X^1 + 0.0000069 * X^2$$

これらの回帰式より, % of max HR が最小となる物理的負担量を求めると, A氏が物理的負担量 -933.85 kg m/分 で 63.29% of max HR, B氏が -738.35 kg m/分 で 47.61% of max HR, そしてC氏が -942.20 kg m/分 で 62.00% of max HR となる。

ところで, 定常状態が現れなくなるのはどのくらいの物理的負担量からであろうか。表-6にその限界近くのデータを示す。この表からはかなり個人差がみられるが, 表-2に示されているようにC氏の体重は他の2名に比べて16kg程大きく, それゆえ物理的負担量が大きくなっているのではな

いかと考えられる。そこで, C氏の物理的負担量を体重 55 kg に換算すると, 20 kg 負荷の場合が 828.72 kg m/分 となり, 30 kg 負荷の場合が 869.93 kg m/分 となるので, 3人の被験者共によく似た限界となっている事がわかる。それゆえ, 体重の要因を抜いたある物理的負担量以上を越えると, 定常状態がなくなるものと推察される。その物理的負担量を求めるために各データを体重 55 kg 値に換算すると, A氏の 10 kg 負荷が 836.69 kg m/分 であり, 20 kg 負荷が 863.08 kg m/分 とな

表-6 定常状態の限界データ

被験者	平均勾配	負荷	定常状態	物理的負担量
A 氏	28%	10kg	あり	862.44 kg m/分
	28%	20kg	なし	886.10 kg m/分
B 氏	28%	20kg	あり	786.93 kg m/分
	28%	30kg	なし	903.24 kg m/分
C 氏	28%	20kg	あり	1016.56 kg m/分
	28%	30kg	なし	1043.91 kg m/分

る。又、B氏は体重が55kgであるので換算を行わなかった。これらのデータより、820～860kgm/分（体重55kg換算値）の間で定常状態のなくなる限界点があると考えられる。

そこで、体重を55kgとして各平均勾配における物理的負担量を負荷別に回帰式(1)～(4)から歩行速度を求め、先の物理的負担量を求める式を使って計算したところ、平均勾配15%～35%の間で820～860kgm/分近くになった。平均勾配5%毎のその結果を表一7に示す。この表より0kg負荷の場合は平均勾配35%以上、10kgの場合は30

表一7 負荷別の物理的負担量

平均勾配	0 kg	10kg	20kg	30kg
15%	550.62	611.66	658.32	708.48
20%	683.06	753.40	806.86	861.23
25%	782.63	857.89	913.01	962.49
30%	847.96	924.57	976.18	1011.00
35%	880.26	955.41	998.77	1009.39
40%	883.77	955.24	—	—
45%	866.12	932.09	—	—
50%	838.78	897.43	—	—
55%	817.46	866.58	—	—
60%	822.53	858.97	—	—
65%	879.41	898.47	—	—

%以上、20%の場合は25%以上、そして30kgの場合は20%以上で定常状態がなくなると考えられる。それゆえ、これらの平均勾配以内の歩行ができるようにする事が好ましい。

6. ま と め

下り歩行においては、負荷に関係なく約70% of max HR 以下であったので、十分に有酸素的運動であると確認された。又、平均勾配30%～40%の下り歩行で生理的負担が最小となる事も確認された。しかし、さらに平均勾配がきつくなると生理的負担が再び増加してくる。—60%以下の様なきつい平均勾配の下り歩行を除いて、下り歩行の生理的負担は問題がないものと考えられる。

上り歩行においては、生理的負担がかなり大きく80% of max HR 以下で歩行できる有酸素的運動の範囲は、10kg以下の負荷で平均勾配約20%以下であり、20kg以上の負荷で平均勾配約10%以下である事が回帰式(5)～(10)から予測された。これを度数になおすと6度～11度になり、歩道の平均勾配としては比較的緩く、これより通勤歩行の大半は生理的に楽な運動ではない事が推察される。又、負荷、平均勾配、歩行速度等の合成指標である物理的負担量が大きい場合には、定常状態が現れなくなる。この限界は約820～860kgm/分であると予測された。これを具体的な例に置き換えると、0kg負荷で平均勾配約35%、10kg負荷で約30%、そして20kg以上の負荷で約25%であるということになる。これらを度数で表すと14度～19度であり、歩道の平均勾配としてはよく存在するのではないかと思われる。それゆえ、通勤歩行は生理的に運動を続けることのできる限界近くに置かれているのではないかと考えられる。以上の事より、上り歩行において生理的に運動を続ける事のできる範囲は、平均勾配で約25～35%以下であると推定される。これ以上の平均勾配、又は負荷のある場合には、下り歩行にする事が生理的負担面から見て経済的である。ところで、実際の通勤歩行では平均勾配30%といっても30%の順勾配がずっと続くわけではなく、当然の事ながら急勾配や緩勾配の組み合わせの平均となっている。山林労働者はこの歩道の変化を巧みに利用して、急勾配の疲れを緩勾配でゆっくり歩く事によって緩和したりしている。山地等⁹⁾は登山中の運動強度が60% of max $\dot{V}O_2$ 以下であると報告しており、心拍水準に換算して約70% of max HR 以下で上り下りの起伏を含めた歩行を行っている事になる。それゆえ平均勾配で考える場合に実際の通勤歩行については、ここで明らかにした生理的負担よりも全般的に少なくなる事は考えられる。

さて、歩行速度の四次元回帰式(1)~(4)の妥当性について生理的な面からの若干の考察を行う。本報では自由歩行を原則としたが、合わせて動機づけによる歩行速度と生理的負担の変化を、平均勾配2%の下り歩行と平均勾配の9%の上り下り歩行の3つの場合について調べた。

下り歩行においては、自由歩行の生理的負担が70% of max HR 以下であるので、これ以上速く歩いたとしても生理的に問題はないと考えられるが、「急いで」の場合の生理的負担はほとんど30kg負担の場合に匹敵している。

上り歩行においては、例えばデータのある9%の上り歩行についてみると、「急いで」の場合の生理的負担は20kg負担の場合の生理的負担に匹敵しており、A氏とC氏の場合は80% of max HR 近くにもなり有酸素的運動の限界に近くなっている。このことから自由歩行においてはこれ以上の歩行速度で歩いて、わざわざ生理的に苦しい思いをする事はないものと考えられる。特に平均勾配20%以上に至っては、10kg以下の自由歩行においても生理的に楽ではないのであるから、歩行速度の回帰式で予測される以上の速さで通勤歩行をする事は生理的に考えられない。又、この事は負担がかかっている場合にも同様である。

以上のように生理的な面からの考察を行うと、本報の自由歩行のデータより速く歩く事はいたずらに生理的負担を増やすだけにすぎない。但し、この考察は数十分以上の通勤歩行を対象としているのであって、1・2分以内のごく短い歩行はこの限りではない。それゆえ、歩行速度の四次元回帰式(1)~(4)は生理的に限界に近い運動強度であり、通勤歩行の歩行速度のひとつの限界を示していると評価できよう。

引用文献

- 1) 山田容三：心拍数からみた山労林働者の歩行負担。京大演報。57。217~229, 1986
- 2) Taguchi, S.: Physical work capacity and its adaptability of Japanese. Bunrikaku, 1981
- 3) 山地啓司：心拍数の科学。大修館書店。1981
- 4) Bink, B.: The physical working capacity in relation to working time and a Ergonomics. 25~28, 1962
- 5) 山地啓司・橘瓜和夫・西川友之・福田明夫：心拍数からみた登山中の運動強度。体育の科学。28。648~656, 1978

Résumé

In order to investigate the walking burden of forest workers, we tried an experiment on their walking in kyoto university forest wakayama. Consequently, we obtained the bequadratic equations (1)~(4) between the walking speed and the average gradient every 10 kg burden (0~30kg). And we tried to estimate the range of the aerobic exercise by 80% of max HR (heart rate). As a result of this analysis, in case of the downhill walking, there is no problem about the physiological burden. While in case of the uphill walking, we estimated that the range of the aerobic exercise is under about 20% avarage gradient on 0, 10 kg burden, and under about 10% on 20, 30 kg. And we also analyzed the limit of the gross heart rate from the physical burden. So we estimated that limit is about 35% avarage gradient on 0kg burden, about 30% on 10 kg, and about 25% on 20, 30 kg.