

森林作業の生理的評価法(I)

—チェーンソーを運ぶ場合—

廣部 伸二 ・ 瀧本 義彦 ・ 沼田 邦彦

The Physiological Evaluation of the Forest Work (I)

—Carrying a Chain Saw—

Shinji HIROBE, Yoshihiko TAKIMOTO
and Kunihiko NUMATA

要 旨

全ての森林作業の基本要素である「林内歩行」というものに、環境要因がどの程度影響を与えているかを調べた。

環境要因としては林地の勾配・下層植生の種類・下刈りの有無・負荷の有無・歩行コース（登り・降り・水平）を取り上げ、測定の指標としては生理的負担・作業能率の2点から、脈拍数・歩行時間を選び、それらの環境要因が2つの指標に与える影響の度合を判断した。

測定対象者は京都大学農学部附属芦生演習林の4名の作業者である。結果としては、歩行時間については林地の勾配の影響のみで、かつその度合が大であったが、脈拍数の方では林地の勾配よりむしろ歩行コースや下層植生の種類・負荷の有無の影響が大きいう傾向になった。

今回の研究では、環境要因が与える影響を定性的に評価するのみに終わってしまったが、今後この種の研究を行なうにあたっては、テレメータ式心電計等による歩行中の心拍数測定、実験規模の拡大、環境要因の定量的評価をめざす必要がある。

は じ め に

森林作業は他の一般産業における作業に比べ生産環境要因の数が多く、かつそれらが複雑に作用しているため、かなり過酷な状況下での労働となっている。即ち、林地という多くの環境要因が複雑にからみ合った場所で作業が行なわれており、それらの要因は作業条件という観点からデメリットとなるものが多い。しかしながら今後もこういった状況の下で、労働者の生理的負担を軽く、作業能率を上げるためには、これら数多くの複雑な作業環境要因を克服する作業体系、作業機を導入していかなければならない。そのためには、各森林作業の特性を出来る限り客観的に数量化すると同時に、環境あるいは条件因子を生理的負担の点から定量化していくことが必要となろう。もし完全な機械化作業を行ない得るなら、これらの環境因子による影響は極めて微々たるものになるであろうが、現段階においては機械化がかなりの部分でなされているものの、総体的には未だ発展途上段階としか言えず、作業者自らが作業機器を携帯し林内を移動しながら作業を行なうといった形態が依然として残っているのである。

こういった現状をふまえた上で、前述の様な森林作業の特異性を考慮し森林で人間が機器を携帯して作業を行なう場合に問題となる環境要因の影響を調べ、作業の実体を解析することは将来

において完全な森林作業の機械化システムを体系づける上で必須の道程であろう。既に林業の分野において、森林労働者の減少等の理由から、作業者の生理的負担を減少するため、作業仕組の改善、作業の機械化といった問題がとり上げられ研究されているが、これらはいずれも作業全体を研究の対象としたマクロなものである。しかし作業というものは幾つかの要素作業の集合であり、しかも作業種により各要素作業の重みづけが異なるのは当然であるから、各要素作業個別に研究すべきである。この様な問題提起に基づいて今回の実験では、特定の森林作業に限定してその特性を考察するのではなく、全ての森林作業の基本要因であり、また作業者に及ぼす生理的負担もかなり著しいと思われる「林内歩行」という行動の特性を解明しようとした。

実 験 方 法

林内歩行に影響を及ぼすと思われる要因の効果を調べるわけであるが、測定の指標としては歩行能力（能率）、生理的負担の2点からそれぞれ、一定距離の歩行時間、歩行後の脈拍数を取り上げた。作業能力（能率）としての歩行時間が、他の一般産業の作業能力（能率）の場合と同様に、環境要因（外的要因）のほかに心身機能の日周期変動、疲労、作業意志等の内的要因の影響をある程度受けていることは否めない事実であり、生理的負担としての脈拍数が日周期変動、疲労等の影響を受けているのもまたしかりであるが、今回は予備の実験なので、それらの内的要因は一応無視して、環境要因のみをとり上げて実験を行なった。

生理的負担の指標として脈拍数を取り上げた理由は、脈拍数の酸素消費量、 $R. M. R$ (Relative Metabolic Rate エネルギー代謝率) との相関が高いからであり¹⁾、また林内で歩行中の酸素消費量や $R. M. R.$ を測定するよりもはるかに簡便だからである。

脈拍数の測定は、常時測定が望ましいが、実験規模の関係から、作業者が歩行を終え休息に入った時点で行なった。測定に使ったのは、パルスメータ (2 D 16形、三栄測器製) で、これは、血管に光を照射し、脈拍時の血管の膨張による反射光の明暗をフォトランジスタで電圧変動に変換して脈拍数を指示する器機である。今回の実験では、人差し指の先にピックアップを取り付けて脈拍数を取り出し、ポータブルペンレコーダを使って記録した。

実 験 計 画

林内歩行に影響を与えると考えられる主要な因子としては、林地の勾配、土質、下層植生、種類、高さ、密度、負荷重量、運搬方法、歩行速度、歩行コース、歩行者の個性（身長・体重・年齢および経験）、気温、湿度、天候および季節等があげられるが、森林作業現場において作業者が小型機器を携帯し林内を移動することを前提に、その歩行に影響を与える要因として、表-1にある様に林地の勾配、下層植生種、下刈りの有無、負荷の有無、歩行コースの5つを選び、順に直交配列表 L_{16} (2^{15}) の1, 2, 4, 8, 15列に割りつけ実験を行なうことにした。

「下刈りの有無」は、環境要因としての「下層植生の高さ」が数的に評価し難く、かつそれに見合った実験場所を選べるかどうかという実験実施上の問題点を考慮して「下層植生の高さ」に代り得るものとして取り上げた。

「負荷の有無」については、負荷重量を段階的に変えて水準を取るという方法もあったが、実験規模等の理由で負荷を与えた場合と与えない場合という2水準とした。負荷を選ぶにあたってはチェーンソー、ブッシュクリーナ等が考えられるが、チェーンソーによる伐木、造材作業の場合には、急傾斜地を歩行する割合が多いので、チェーンソーを選んだ。なお、歩行時のチェーン

表1 因子と水準

Table 1 Factors and Levels

U-H				D-H			
わりつけ	因 子	水 準		わりつけ	因 子	水 準	
		1	2			1	2
A	林地の勾配	緩 (15°)	急 (30°)	A	林地の勾配	緩 (15°)	急 (30°)
B	下層植生	灌 木	笹 生	B	下層植生	灌 木	笹 生
C	下刈り	有	無	C	下刈り	有	無
D	負 荷	有	無	D	負 荷	有	無
E	歩行コース	登 り	水 平	E	歩行コース	降 り	水 平

ソーの持ち方は、チェーンソーのバーを進行方向後ろ向きに右手片手持ちとした。チェーンソーは STIHL 041 AV (8.5 kg) を使った。

歩行コースについては、登り・降りの2水準が考えられる。しかし、水平歩行を、どのように扱うかという点で、勾配0度とするか、登り・降りのいずれでもない場合とするかで、判断に迷ったが、今回は、それぞれの因子のうち、どの因子の影響が大きいかを見出すという点を重視したので、他の因子と水準を合わせるため、登りー水平、降りー水平という2水準、2つの組合せとした。

実験場所・日時・天候・歩行距離及び勾配は表2の通りであり、京都大学農学部附属芦生演習林内で各因子の水準の組み合わせに選んだ場所を選んだ。実験日時については、実験を適地探しと並行して行なったためばらばらになってしまった。歩行距離については、場所的制約が大きく十分な距離がとれない場合もあったが、水平方向は40 m、登り・降り方向は30 mを基準とした。

表2 実験時の条件

Table 2 The experimental conditions

No.	実 験 場 所	月 日	時 間	天 候	距 離	平均勾配
1	6 林班造林地 (焼山)	11月2日	10:00	曇	30 m	16度
2	"	"	11:00	"	40 m	"
3	4 林班林道終点	11月1日	11:30	晴	40 m	17度
4	"	"	10:00	"	30 m	"
5	5 林班林道端	11月21日	14:00	"	40 m	10度
6	"	"	13:30	"	30 m	"
7	4 林班尾根筋	"	11:30	曇	25 m	12度
8	"	"	12:00	"	40 m	"
9	6 林班造林地 (焼山)	11月16日	10:30	"	40 m	32度
10	"	"	10:00	"	24 m	"
11	15 林班林道端 (オオノ谷)	"	13:00	"	17 m	37度
12	"	"	14:00	"	32 m	"
13	5 林班造林地 (内杉)	11月1日	14:00	晴	25 m	35度
14	"	"	15:00	"	40 m	"
15	4 林班林道端	11月21日	11:00	"	40 m	25度
16	"	"	10:00	"	25 m	"

表3 作業者のデータ

Table 3 The data about the workers

作 業 者	年 齢 (才)	身 長 (cm)	体 重 (kg)
a	42	165	54
b	31	158	58
c	41	163	59
d	52	163	59

作業者に関するデータは表-3の通りであり、4名共日常森林作業を業務とする芦生演習林の技官である。

歩行速度は因子に加えず、各作業者に常林地を歩くテンポで歩くよう指示した。

分 析 方 法

実験方法の所で述べた様に、測定の指標として歩行能力（能率）、生理的負担という2点からそれぞれ、一定距離の歩行時間、歩行終了直後の心拍数をとり上げたが、歩行時間については歩行距離 40 m に換算した時間をもって分散分析を行なうことにした。脈拍数は脈拍数増加率を求めて、分散分析を行なった。脈拍数増加率の求め方は次の通りである。まず脈拍の読み取りには R-R 間隔平均という手法を用いた。この R というのは心電図における主波（R 波）のことであり、レコーダーに記録される波もこの R 波に相当するものであるため、心電図の分析手法を流用したのである。5つ毎の R 波の長さの読みを各々1分間の脈拍数に換算し、その換算値から10秒毎の平均値をとり、その10秒間の脈拍数とするのである。次にその脈拍数を脈拍数増加率に換算した。増加率の算出は歩行終了直後30秒間の脈拍数の平均をとり、歩行者の安静時脈拍数を引いたものを更に安静時脈拍数で割ってパーセンテージを出すのである。

結 果 と 考 察

表-4 に歩行時間に関する分散分析の F 値と寄与率を示した。この表から (U-H) (D-H) の両者共に A（林地勾配）の因子による変動が大きく、この林地勾配と歩行時間の関係を示した図-1にある様に両者共に「緩」よりも「急」の方がそれぞれ53%、42%の増となっている。

(U-H) の場合、「急」の方が大きくなるのは当然であるが、(D-H) の場合でも「急」の方が大きくなる理由として、図-2〔歩行時間（降り-水平）での交互作用〕を見る限り「急」斜面で「下刈り無し」(C₂) の場合 (A₂C₂) の値が大であるのと、「緩」斜面を「降り」る場合 (A₁E₁) の値が大きいことの2つが効いているように思われるが A×C、A×E とも有意でないため確かなことは言えない。なお、直交配列表 L₁₆ (2¹⁵) で5因子とその交互作用を割りつけた場合、今回の様に繰り返しのない実験ではエラーが出ないため、主要因 A、C、E の効果が大であろうと仮定し、それら3つの交互作用だけをとって他の交互作用は全てエラーとした。

脈拍数増加率については、まず歩行終了直後30秒間の増加率のデータをとった。

分析結果は表-5にある様に (U-H) の方で A、B、E の3因子が5%で有意になっており要因の占める寄与率も相当高いが、(D-H) の方では F 検定でいずれの要因も有意とならないが寄与率では B が (U-H) の場合と同様に高い。しかしいずれの場合もエラーがかなり高い割合をしめており、これは測定開始直後5~10秒間の脈拍が測定方法の不備により、ほとんど全てのデータにおいて低い値になっているのが原因である。また、今回測定に使用したパルスメータはその構造上、測定開始数秒はバラツキが大きいといわれている。そこで最初の10秒間は削除し、次の20秒間の脈拍数増加率を出してみた。その分析結果が表-6である。(U-H) では要因 E の変動が大きく、A、B、D がそれに続いている。(D-H) では B、D、E の3つの変動が大きい。(U-H) (D-H) 共に歩行時間の場合に影響の小さかった B、D、E が大きく寄与しているのが特徴的であり、しかも B、D の2要因は図-3、4にある様に (U-H) と (D-H) で同じパ

表4 分散分析によるF値と寄与率(歩行時間)

Table 4 F-ratio and Percentage of contribution of variance (Walking-time)

FACTOR	U-H		D-H	
	F値	ρ (%)	F値	ρ (%)
A	**12.66	38.24	*9.22	32.99
B	0.39	—	0.40	—
C	4.45	11.31	5.44	17.81
D	0.50	—	0.19	—
E	1.91	2.99	0.44	—
A $\times$ C	0.47	—	0.52	—
C $\times$ E	0.73	—	1.23	0.93
A $\times$ E	2.37	4.50	0.48	—
e	—	42.96	—	48.27

**: F (1, 7 : 0.01) = 12.25

*: F (1, 7 : 0.05) = 5.59

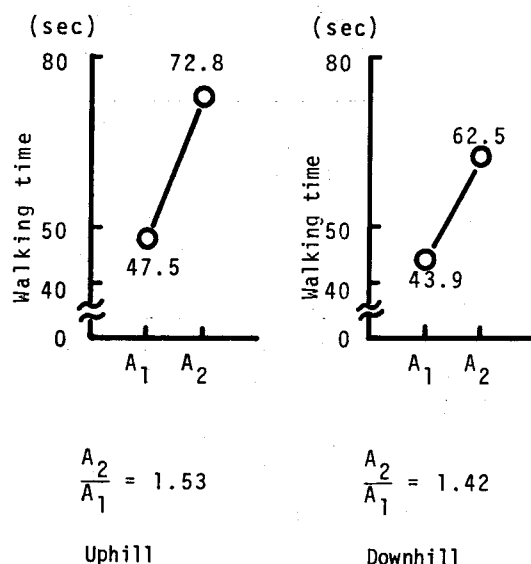


図1 歩行時間と勾配の関係

Fig. 1 The relationship of walking-time to inclination of slope

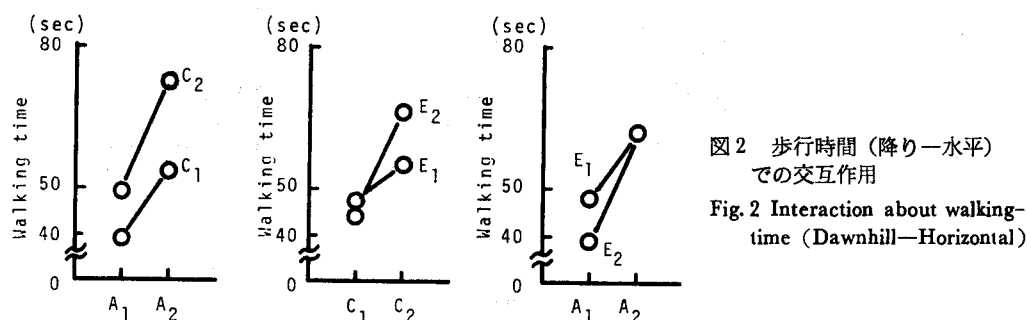


図2 歩行時間(降り—水平)での交互作用

Fig. 2 Interaction about walking-time (Dawnhill—Horizontal)

ターンを示しており、この2因子の有意性はかなり信頼できると見てよい。E についても (U-H) では「登り」の方が値が大きく (図-3)、(D-H) では「降り」の方が値が小さい (図-4) という様に、歩行時間の場合と同じ傾向となっている。また (D-H) においては有意とはならなかったが、A の要因も (U-H) (D-H) 共に「急」の方が値が大きく、これも歩行時間の場合と同じパターンである。

以上の分析結果を総合すると、歩行能力(能率)としての歩行時間は斜面の緩急の変化だけに大きく影響されるが、生理的負担の指標としての脈拍数増加率の方では斜面の傾斜の影響よりむしろ下層植生の種類や負荷の有無、それに歩行コースによる影響が大きく、植生では灌木よりも笹生で、歩行コースでは水平より登りで、降りよりも水平でそれぞれ負担が大きくなっている。しかし斜面の傾斜だけについて見れば、歩行時間と脈拍数増加率の両者で同じ傾向が出ている。即ち、「急」斜面の方が歩行時間が長く、かつ生理的負担も大きくなっているのである。

これらのことから考察すると、今回の実験において歩行者は斜面傾斜に敏感に反応し、急斜面になると登り降りにかかわらず歩く速度をゆるめるが、下層植生の種類や高さ、それに負荷の有

表5 分散分析によるF値と寄与率（脈拍増加率①）
Table 5 F-ratio and Percentage of contribution of variance (the Increase rate of Pulse①)

FACTOR	U—H		D—H	
	F値	ρ (%)	F値	ρ (%)
A	*6.33	14.05	2.24	6.70
B	*9.00	21.08	4.95	21.41
C	0.43	—	0.28	—
D	0.95	—	2.23	6.64
E	*11.88	28.67	1.42	2.27
A × C	2.12	2.96	0.16	—
C × E	0.16	—	0.14	—
A × E	0.08	—	0.06	—
e	—	33.24	—	62.98

*: F (1, 7 : 0.05) = 5.59

表6 分散分析によるF値と寄与率（脈拍増加率②）
Table 6 F-ratio and Percentage of contribution of variance (the Increase rate of Pulse②)

FACTOR	U—H		D—H	
	F値	ρ (%)	F値	ρ (%)
A	*10.17	15.14	4.53	9.75
B	*11.89	17.98	*9.80	24.28
C	2.31	2.16	0.86	—
D	*9.96	14.81	*6.87	16.19
E	**15.63	24.17	*6.18	14.28
A × C	3.25	3.72	0.60	—
C × E	0.32	—	0.38	—
A × E	0.01	—	0.03	—
e	—	22.02	—	35.50

** : F (1, 7 : 0.01) = 12.25

* : F (1, 7 : 0.05) = 5.59

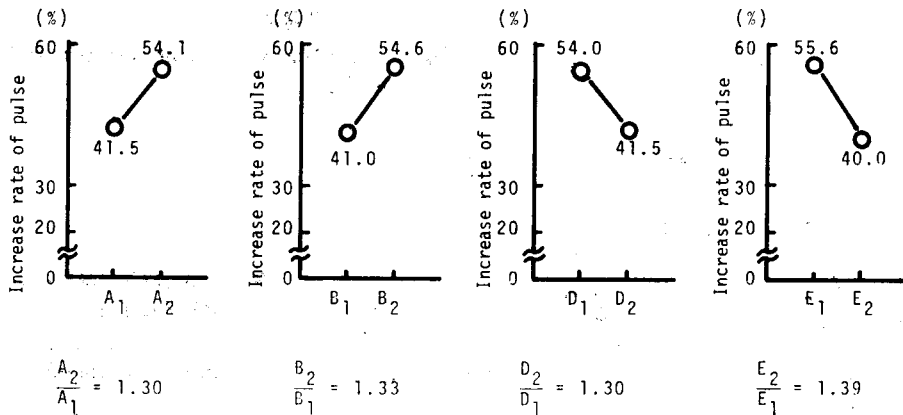


図3 脈拍増加率②（登り—水平）の因子変動

Fig. 3 Variation of Factors about the Increase rate of Pulse ② (Uphill—Horizontal)

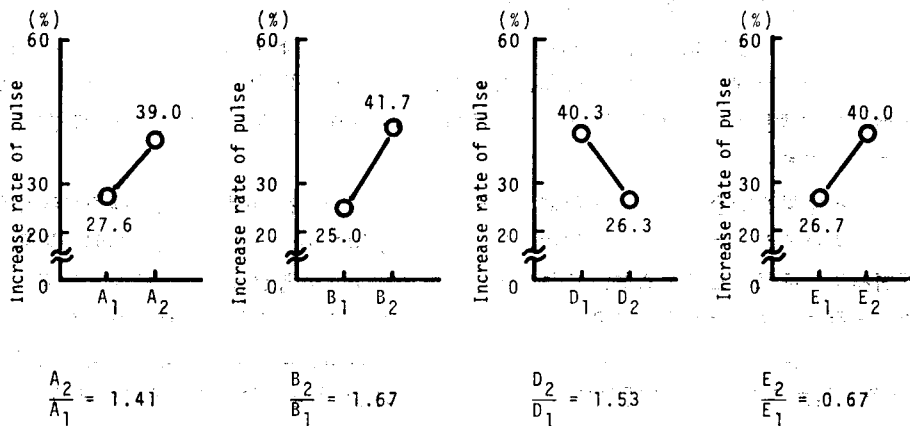


図4 脈拍増加率②（降り—水平）の因子変動

Fig. 4 Variation of Factors about the Increase rate of Pulse ② (Downhill—Horizontal)

無にはあまり構わず一定速度で歩こうとしたようである。しかしそこには生理的負担の差がはっきり生じており、このことは、灌木地よりも笹生地を歩く方が、機器を携帯しないよりもした方がかなり負担は大きいという結果から証明される。更に、一定傾斜の斜面を方向を変えて歩く場合においても同様のことが言える。即ち、どの方向に歩くのも時間的にはあまり差が出なかったが、水平方向の歩行に比べ登りはやはり生理的負担が大きく、降りは逆に小さいということである。ただ降り方向の負担が小さいというのは今回の実験対象地となった 15° から 30° 程度の斜面でのみ言えることであって、傾斜がさらに急になった場合必ずしも降りの方が生理的負担が小さいとは言いきれない。それは先に述べたが、降りの場合でも斜面が急になると生理的負担が増すという傾向が出ているからである。

今回の実験では、歩く距離が短く、スタート地点からゴールが見える場所が多かったせい一か一気に歩き通すという傾向になってしまった様だが、それでもなお歩行時間と脈拍数増加率の両者にそれぞれははっきりした傾向が出ているということは、この2つが今回の実験の指標として適当であったことを示しており、実験全体から見れば比較的短い歩行における環境要因の影響の大きさをかなり正確に把握できたと思える。今回は、歩行終了直後の脈拍数しか測定できなかったが、歩行中のデータがあれば、生理的負担のもっと詳しい解析が可能であろう。環境因子では、気温・湿度・風力等季節によっては勿論のことその日その日によっても変動する要因を組み込めなかったのは残念である。因子の水準数では「勾配」や「歩行コース」は3水準にすべきであった。

あ と が き

森林作業の基本要因である林内歩行の特性を生理的に解明しようとするのが今回の目的であったが、結果としては環境要因が与える影響の大きさを定性的に評価するのみに終わってしまった。今後この種の研究を行なうにあたっては、より多くの要因を組み込んだ規模の大きな実験を繰り返し行なうことが必要であろう。また測定の指標、特に生理的負担の指標として従来の R. M. R. に代わるものを見い出すことも必要と思われる。今回の実験にも用いたが、脈拍数などは測定も簡単であり、常時測定を行なえばさらに有効な指標になり得るといえる。その様な有効な指標を用いて数多く行なわれた実験の結果から初めて環境要因の定量的評価が可能となり、林内歩行を森林作業行程の中に組み込むことが出来ると考えられる。

最後に、本研究を進めるにあたり御指導いただいた京都大学農学部佐々木教授、藤井助教授、山本講師、酒井助手に心から厚く御礼を申し上げますとともに、京都大学芦生演習林の川那辺教授にも心からの謝意を表します。また実験を行なうにあたり御協力いただいた京都大学芦生演習林の技官の皆様にも感謝致します。

引 用 文 献

- 1) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝，91～100，労働科学研究所（1974）

Résumé

In this report, we studied on the relationship of "Walking in the forest" to the environmental factors (the slope of ground, the kind of bush, the degree of weeding, the

weight of load and the walking course).

We measured walking time and heart rate for four workers with a pulse meter at Kyoto University Forest at Ashuu, Kyoto JAPAN, treated the data obtained statistically, and estimated the relation of environmental factors to those.

Conclutions:

- 1) The walking time is influenced by only the slope of ground. The steeper, the more influenced.
- 2) The heart rate is more influenced by the kind of bush, the weight of load and the walking course than the slope of ground.