

## 林内散策における運動量に関する考察

櫻井 倫（東大院農）・山本清龍（東大富士演）

**要旨：**森林療法の一環としての林内散策に注目し、その物理的効果に関する実験と考察を行った。富士山南斜面の既設散策路において被験者3名の心拍数と移動状況を測定した。心拍数より  $VO_{2\max}$  を算出し、単位時間・体重あたりの消費カロリーへ換算した。消費エネルギーには被験者ごとの個人差が認められた。歩行速度、縦断勾配、足元の状況と消費カロリーとの関係を分析したところ、歩行速度には相関が検出され、縦断勾配との間には二次の回帰式が導出された。また砂礫上と土壌上の歩行では消費エネルギーの違いは被験者3名中1名のみ検出された。また、算出した消費カロリーをもとにカロリー消費マップを作成した。

**キーワード：**心拍数、林内散策、消費エネルギー

### I はじめに

近年、森林を場とした心理的療法が注目を集め、全国各所で研究、実践が進みつつある。

森林療法は一般的に林内を散策し、その静穏、景観などにより受療者に心理的な休養機能をもたらすものである。森林療法には林内で休養を行うものと活動を行うものがあるが、このうち活動を行うものの代表的なものに林内散策がある。林内散策は心理的効果に加え運動による効果が期待できるため、今後一層の普及が必要である。

本研究では平坦、ないしそれに近い地形に森林が存在し、なおかつ既存の観光資源として活用がなされている富士山麓に着目し、林内散策における消費エネルギーについて心拍数を測定することにより間接的に求め、歩行経路の縦断勾配などの外的因子による消費エネルギーの差異について考察し、消費カロリーマップの作成を試みた。

なお、本研究は静岡県戦略課題研究「富士山」『富士登山の心理的・生理的効果の解明と環境配慮型登山プログラムの提案』により行った。

### II 実験方法

カロリーマップ作成のための消費エネルギーを推定するための指標を算出するため、散策歩行時の心拍数の変化を測定する実験を行った。心拍数は一定の演算により個人差の少ない単位体重あたりの消費エネルギーに換算することが可能である（4）。実験は心拍計を装着した被験者3名が既存の林内散策路を散策することで行った。運動による単位体重あたりの消費エネルギーは個人差が出ない形で表現されており（1,3）、少數の被験者でも問題

ないと考えられる。

被験者は表-1に示す3名である。また、実験となる散策は静岡県、富士市、静岡森林管理署他により構成される富士山自然休養林保護管理協議会により提示されているハイキングコース12路線のうち7路線を使用して行った。コースおよび位置を図-1に示す。

心拍数の測定にあたってはPolar社製心拍計ANX-700を使用し、5秒間隔で被験者各個の心拍数を記録した。また、正確な歩行距離と路線の縦断勾配を計算するためにGarmin社製GPS受信機GPSMAP60CSxを使用して位置および標高を測定し、記録した。

測定は9月15日、29日、30日、10月13日の4日間に行った。コース概要を表-2に示す。

### III 実験結果と分析

心拍計とGPSによる記録をもとに分析を行った。なお分析にあたっては、1分ごとにデータをサンプリングすることを基本とし、それに休憩の前後のデータを追加した。

**1. 消費エネルギーの計算** 被験者3名の心拍数の変化、および標高と歩行区間の縦断勾配を図-2～4に示す。実験機器が無線を使用しているため、心拍数の測定器と記録器の間の交信が途切れることがあり、その時間帯は欠落値となっている。

心拍数は個人差が大きいため、これを恒常的指標である別の指標に換算する必要がある。恒常的指標としては国内で広く使用されているエネルギー代謝率R.M.R (Relative Metabolic Rate)（3ほか）、近年厚労省など

Rin SAKURAI (Grad. Sch. of Agric. and Life Sci., the Univ. of Tokyo, Tokyo 113-8657) and Kiyotatsu YAMAMOTO (Univ. Forest in Fuji, Grad. Sch. of Agric. and Life Sci., the Univ. of Tokyo, Yamanashi 401-0501)  
The analysis of consumed energy by walking in forest

で使用が広がっている MET (METabolic equivalents)

(1) などがあるが、本研究では最大酸素摂取量  $VO_{2\max}$  に対する酸素摂取量の比率  $\%VO_{2\max}$  を使用した。

心拍数と運動強度、およびエネルギー消費量は比例することから、換算は安静時の  $\%VO_{2\max}$  を 10% と設定して (4) 以下の式により行った。

$$HR_{now} = HR_{rest} + (\%VO_{2\max} \cdot 10) / (100 \cdot 10) \times (HR_{max} - HR_{rest})$$

ただし、

$HR_{now}$ : 心拍数

$HR_{rest}$ : 安静時心拍数

$HR_{max}$ : 最大心拍数 (220-年齢により一般的に算出できる)

つづいて  $VO_{2\max}$  より消費エネルギーを算出した。酸素 1lあたりの消費エネルギーは 5kcal とされており (4), これを用いて計測した各被験者の  $VO_{2\max}$  および  $\%VO_{2\max}$  より体重あたり消費エネルギーを算出した。各被験者の測定値は表-1 に示したとおりである。

各被験者ごとに算出された消費エネルギーを対応あり t 検定により検定すると、有意水準 1% で差異が検出された。本来、体重あたり消費カロリーは体格等の個人差にあまり左右されないが、ここでは  $VO_{2\max}$ 、安静時心拍の測定方法を簡便なものとしたこと、被験者 3 名が同一行動をとって各被験者の経済的歩行速度を考慮しなかったことなどの理由により個人差が生じたものと思われる。

**2. 諸因子と消費エネルギーとの関係** 移動にあたっての消費エネルギーに深く関与すると思われる因子として、歩行速度、縦断勾配、足場といった条件が考えられるところから、これらの因子と消費エネルギーとの関係について分析を行った。

**2.1 歩行速度** まず歩行速度と消費エネルギーとの関係について分析した。平均速度は 3.16km 毎時、最速値は 5.17km 每時であった。平地における歩行速度と消費エネルギーの関係を METs 表 (1) より調べると、歩行速度 5.63km 毎時程度までは体重・距離あたりの消費エネルギーは 0.50kcal/kg/km でほぼ一定であることから、時間あたりで計算すると歩行速度と消費エネルギーは比例関係にあるものと予測した。

実際に測定された歩行速度と計算された消費エネルギーとの関係は図-5 に示すようなものとなった。相関はほとんど無いように見うけられ、検定を行うと相関係数は被験者 A, B, C それぞれ -0.2231, -0.1978, -0.2355 であったが、すべて Pearson の相関検定によると 1% 有意水準で相関があると判断された。

**2.2 縦断勾配** 縦断勾配と時間・体重あたり消費エネルギーとの相関をみると、図-6 に示す通りとなった。心拍数はゆるやかな下り勾配において最も低くなり、上り勾配および急傾斜の下り勾配において高くなる傾向が確認された。

これは岩崎 (2) が指摘しているところであるが、本研究でも同様の結果が示された。

各被験者ごとに縦断勾配と消費エネルギーの関係を二次曲線で回帰すると、

$$\text{被験者 A: } y = 6.341 \times 10^{-5} (x + 18.34)^2 + 1.002 \times 10^{-1}$$

$$\text{被験者 B: } y = 5.958 \times 10^{-5} (x + 11.36)^2 + 7.668 \times 10^{-2}$$

$$\text{被験者 C: } y = 4.709 \times 10^{-5} (x + 15.96)^2 + 8.933 \times 10^{-2}$$

ただし、 $x$ : 勾配 (度)

$$y: \text{消費エネルギー (kcal/kg/min)}$$

となった。下り勾配では重力による加速が加わるためエネルギー消費量が減少し、エネルギーは推進よりも制動に使われることになる。すなわち、制動に使われるエネルギーと推進に使われるエネルギーが約 15 度程度で釣り合うものと推測される。

**2.3 足場の状況** 次に足元の歩行難易度と消費エネルギーとの関係を調べた。図-1 に示す各散策路のうち、ほとんどは灌木も含め立木に覆われており土壤の上を歩行するが、新五合目から発しているルート 2→3 間においては砂礫上を歩行する区間、いわゆる「須走り」がある。そのため、足場の状況により違いが生ずるか否かについて、特に足への負荷がかかる砂礫上の歩行における消費エネルギーの違いを検討した。

砂礫上の歩行は足腰に負担がかかることはよく知られており、実際に測定のための歩行中においても被験者からは最も過酷な区間であったとの意見が得られ、消費エネルギーには差異が生じるであろうことが予測された。

しかし、同分散の F 検定および同平均の t 検定を行ったところ、被験者 A と B の測定結果においては同一の分布であることが示されたが、被験者 C の測定結果においては異なる分布であることが示され、必ずしも大きな差異が生じるわけではないことが示された。例として被験者 A の土壤上歩行と砂礫上歩行の比較を図-7 に示す。なお、頻度に差がありすぎるため、比較できるように縦軸が土壤上歩行の件数と砂礫上歩行の件数で異なっている。

#### IV. カロリーマップの作成

計算した単位時間あたり消費エネルギーに各区間の所要時間を乗じ、実験で使用した各散策路を歩行したときの消費エネルギーを計算した。散策路ガイドマップ上

に求めた各コースの消費エネルギーを記入してエネルギー消費図（カロリーマップ）を作成した。

ただし、被験者3名の消費エネルギーには差異があると検定されたため、ここでは3名の平均値を用いて消費エネルギーとした。作成したものを図-8に示す。

なお、一部区間では片道のみの歩行であったため、欠損となる方向が存在する。

## V. おわりに

本研究によって、富士自然休養林における林内散策路の消費エネルギーが推測され、カロリー消費マップを作成することができた。

なお、ここでは消費エネルギー算出の指標である  $VO_{2\max}$  および安静時心拍を簡易的な測定法により測定したため、より正確な測定法によりこれらの指標を測定することで、消費エネルギーの予測精度を向上させることが可能であると考えられる。

また、本研究により単位時間あたり消費エネルギーに影響を与える因子とその影響がある程度特定できたため、今後は今回歩行しなかった各区間、方向の消費エネルギーについて推定が可能であると考えられる。これを用いてカロリーマップを完成させることができると期待できる。

## 引用文献

- (1) BARBARA E. AINSWORTH *et al.* (2000) Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities: Med Sci Sports Exerc. 2000 Sep;32(9 Suppl):S498-516
- (2) 岩崎史義(2008) 歩道散策の運動強度、日本森林学会大会発表集 119 : 20
- (3) 沼尻幸吉(1974) 活動のエネルギー代謝(増補第2版) 財団法人労働科学研究所出版部、東京、345pp.
- (4) 東京大学身体運動科学研究所編(2000) 教養としてのスポーツ・身体運動. 東京大学出版会、東京、235pp.

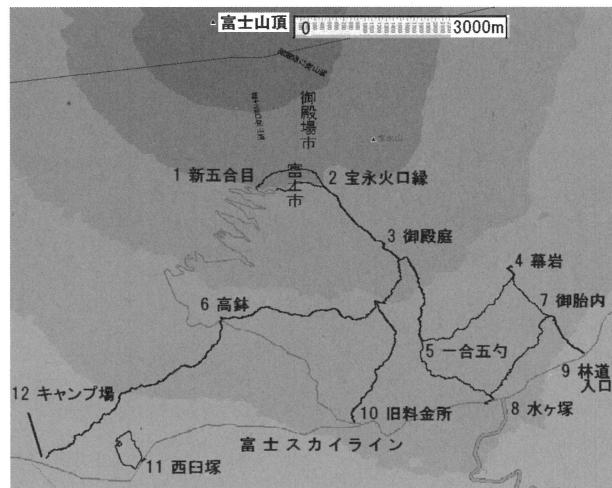


図-1. 実験地(地名は富士山自然休養林保護管理協議会の地図による。黒線が散策路。)

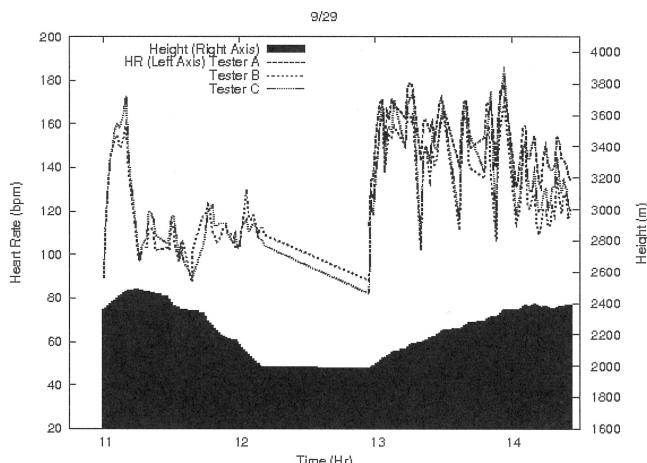


図-2. 心拍数測定結果(9月15日)

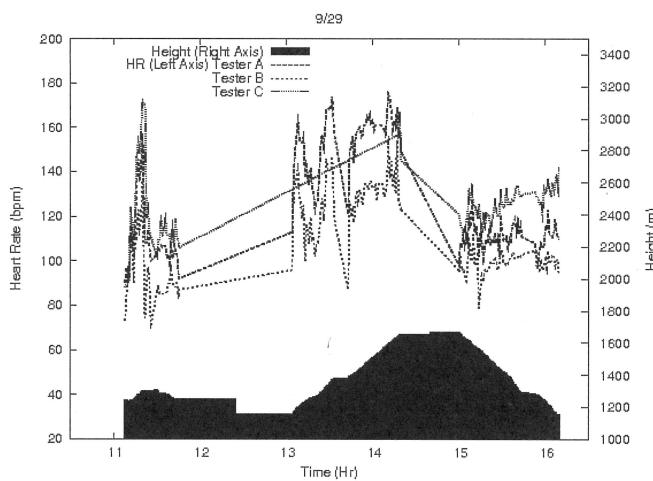


図-3. 心拍数測定結果(9月29日)

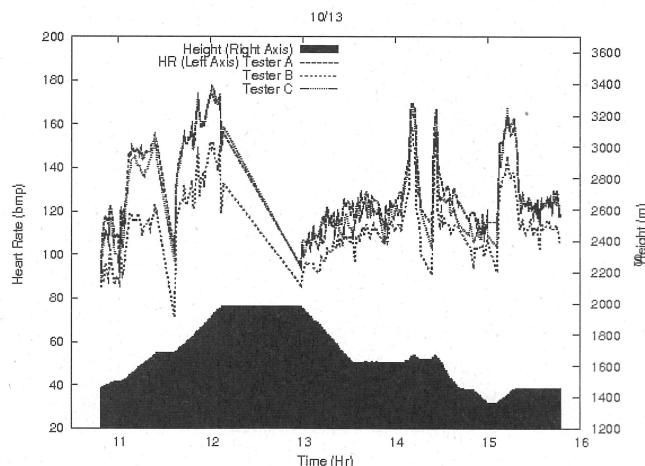


図-4. 心拍数測定結果（9月30日）

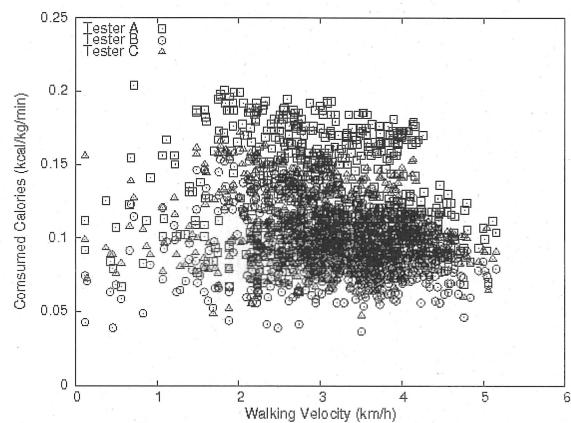


図-5. 歩行速度と消費エネルギーの関係

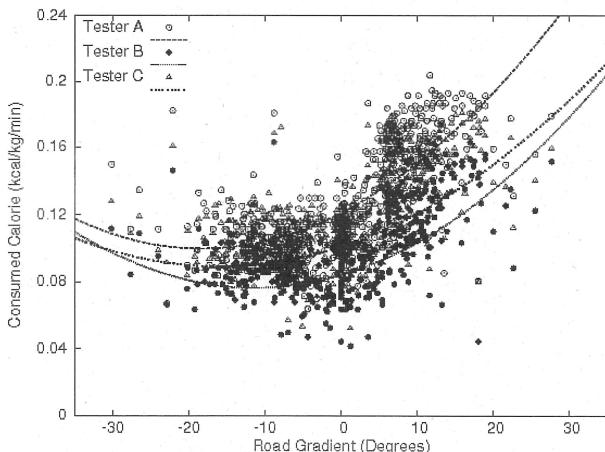


図-6. 縦断勾配と消費エネルギーの関係

被験者	年齢	性別	身長(cm)	体重(kg)	VO <sub>2max</sub>	HR <sub>rest</sub>
A	35	男	173	64	42	62
B	29	男	170	63	37	54
C	20	男	171	78	38	50

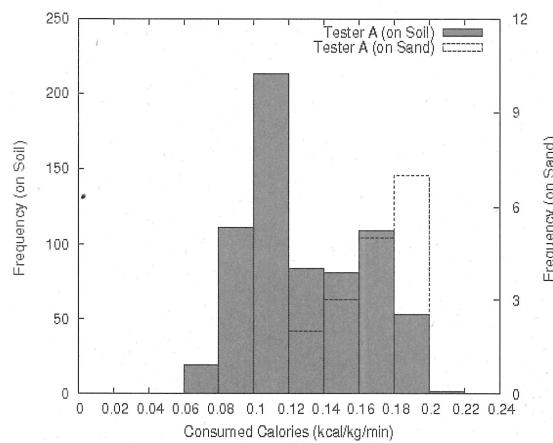


図-7. 土壌上歩行と砂礫上歩行の消費カロリーの差  
(被験者 A)

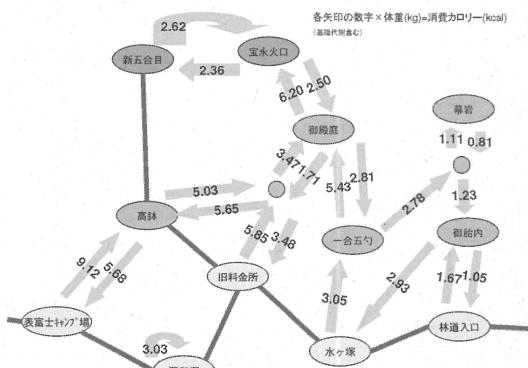


図-8. 作成したカロリー消費マップ

実験日	区間	水平距離(km)	高低差(m)	平均勾配(度)	所要時間	特記事項
9/15	1→2→3	2.82	368	12.2	1h10min	上(六合目) 経由
	3→2→1	2.54	369	10.3	1h27min	下経由
	11	1.78	0	4.54	37min	周回コース
9/29	12→6	3.74	495	7.5	1h16min	
	6→12	3.74	501	7.8	1h09min	
	6→3	3.55	302	6.18	1h32min	
	3→10	3.17	505	9.01	1h01min	
9/30	10→6	4.75	191	5.44	1h37min	
	8→5→3	3.35	523	8.96	1h21min	
	3→5→4	3.67	333	7	1h17min	
	4→7→9	1.88	282	9.97	0h36min	
10/13	9→7→8	2.53	89	2.44	0h40min	