

歩行に関する一考察

管原 正志

（1991年4月26日受理）

The Relationships between Step-Length, Step-Frequency and Walking Speed

Masashi SUGAHARA

I. はじめに

車社会となった今では、ヒトは本当に歩かなくなった。脚に自信のある者であれば、一日8時間程度は歩くことができ、歩数は6万歩に達し、およそ40kmの距離に相当する。著者が調査したところでは、日常生活の中で、学童は5,000～10,000歩、ビジネスマンは4,000～8,000歩、主婦であれば3,000～4,000歩と加齢と共に歩数から見た一日の活動量が減少しているのが最近の特徴であり、肥満や成人病を引き起こす要因ともなっている。もし、家庭の主婦が一日約40分の運動を実施すると、歩数は約10,000歩となり、学童と同程度にまで達する。

運動の種類には、①無酸素運動が主となるもの、②有酸素運動が主となるもの、そして③両者を取り込んだ混合運動がある。無酸素運動では、疲労物質の出現のため血液の酸性が進み、心臓に負担を与えるために障害を潜在的に持つものにとっては重大な結果となる。一方、正しい運動処方のもとでの有酸素運動は、酸素の需要と供給のバランスが保たれるために、疲労物質の出現もなく、健康・体力づくりに適している。有酸素運動には、ジョギング、歩行、水泳などがあり、中でも歩行は手軽に出来る全身運動であり、中高年齢者や運動経験の無い者にとって体に負担を与えること無くできる。

歩行に関する研究は、①年齢、性、人種、勾配、速度などによるエネルギー代謝量の違い（1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22）、②歩行の効率（3, 11）、③歩行による運動処方に関する事（7, 12, 20）など枚挙にいとまがない。歩行の動作は、全身緊張することなく、ゆったりとしたフォームで無駄を除いて、しかも、姿勢正しく歩くことが基本である。

本報に於いては、勾配、速度、歩幅の組み合わせによる、酸素需要量からみた歩行のoptimalな条件を既報の値と比較する。

II. 研究方法

被験者は、健康な成人男性3名である。最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) と最高心拍数 (H. R. max) の測定は、トレッドミルを用い、上り勾配5%の速度漸増負荷法による all-out 走で行った。被験者の身体特性を表1に示した。歩行運動は、何れもトレッドミルを用い、測定前に各被験者がトレッドミルに十分に馴れるまで歩行を行った。トレッドミルの上り勾配は、0%、2.5%、5%であり、歩数は、76歩/分、96歩/分、そして116歩/分、また歩幅は、36.5 cm、45 cm、58.5 cm、65 cm、75 cm、85 cmで行った。そして歩幅、歩幅の身長比、下肢長比、歩行速度を表2に示した。各条件下での歩行運動は、10分間実施し、運動中と回復の呼気ガスを、心拍数が安静状態に回復するまで採気した。呼気量は Fukuda の Respirometer、酸素、炭酸ガス濃度は三栄測器呼気ガス分析器でそれぞれ測定した。同時に、心拍数を日本光電のテレメータ・システムにて記録測定した。

表1 被験者の身体的特性

被験者	年齢	身長	体重	下肢長	体脂肪率	最大酸素摂取量		最高心拍数
		cm	kg	cm	%	l/分	ml/kg/分	拍/分
S. S	21.7	175.6	65.5	93.9	9.8	3.96	60.5	186
K. T	22.4	171.4	64.5	88.0	13.2	3.86	59.8	192
K. M	22.3	162.1	64.2	84.9	11.8	3.65	56.9	188

下肢長は、腸骨上縁高と恥骨結合高との平均値。

体脂肪率は、皮脂厚よりの計算値。

表2 歩幅、歩数と歩行速度

歩幅 cm	身長に対する 歩幅の割合* %	下肢長に対する 歩幅の割合* %	歩 数 (歩/分)		
			7 6	9 6	1 1 6
			歩行速度 (m/分)		
36.5	21.5	41.1	28	35	42
45	26.6	50.7	34	43	52
58.5	34.5	66.9	45	56	68
65	38.4	73.2	50	62	75
75	44.3	84.5	57	72	87
85	50.1	95.8	65	82	99

(* : 数値は、3名の平均値。)

Ⅲ. 結果と考察

A. 歩行速度と酸素摂取量

図1に歩行速度と体重当たり酸素摂取量,そして,図2に歩行速度とMets(安静時酸素摂取量に対する歩行時の酸素摂取量の割合,運動強度の指標)との関係を示した。

歩行速度の増加と勾配の上昇に伴い酸素摂取量は増加し,生理的運動強度 $\dot{V}O_2$ (% of $\dot{V}O_2$ max) は,勾配0%では28m/分で9.0ml/kg/分(15.2%),75m/分で1.4倍の12.9ml/kg/分(21.8%),99m/分で3.9倍の34.7ml/kg/分(58.7%)であった。また,勾配2.5%では28m/分で11.3ml/kg/分(19.1%)に対し,75m/分で1.6倍の17.6ml/kg/分(29.7%),そして99m/分で3.6倍の40.8ml/kg/分(69.0%),更に勾配5%では,28m/分で12.7ml/kg/分(21.5%)に対し,75m/分で1.8倍の22.4ml/kg/分(37.9%),そして99m/分で3.8倍の48.4ml/kg/分(81.2%)の値を示した。図には示さなかったが,心拍数(% of H. R. max.)は,勾配0%では28m/分で73.0拍/分(38.7%),75m/分で85.5拍/分(45.3%),99m/分で,123.0拍/分(65.2%)であった。また,勾配5%では28m/分で91.5拍/分(48.5%)に対し,75m/分で109.8拍/分(58.2%),そして99m/分で138.3

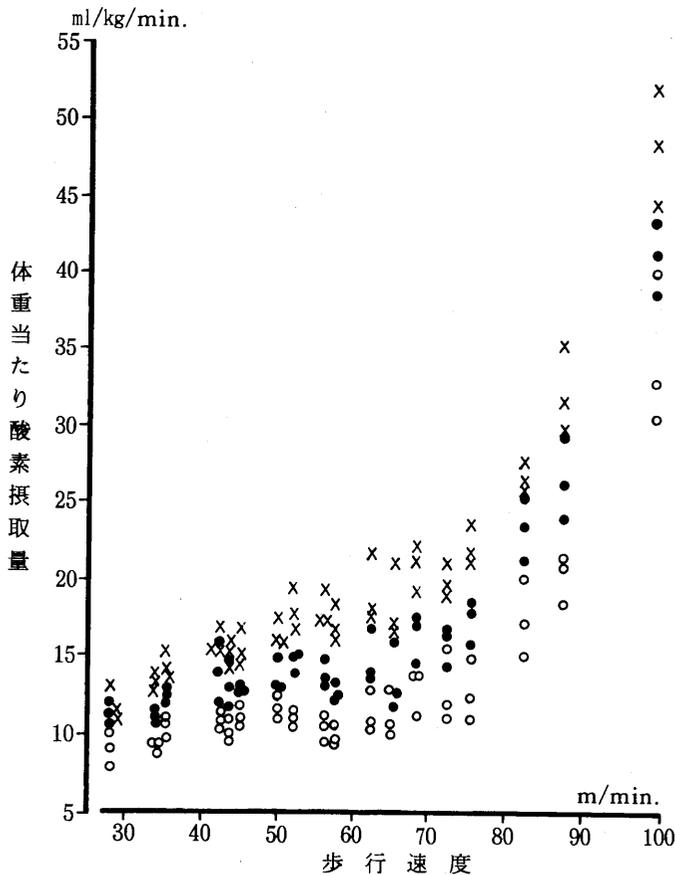


図1 歩行速度 (m/分) と酸素摂取量 (O₂ ml/kg/分) の関係
(勾配 ○ : 0% ● : 2.5% × : 5%)

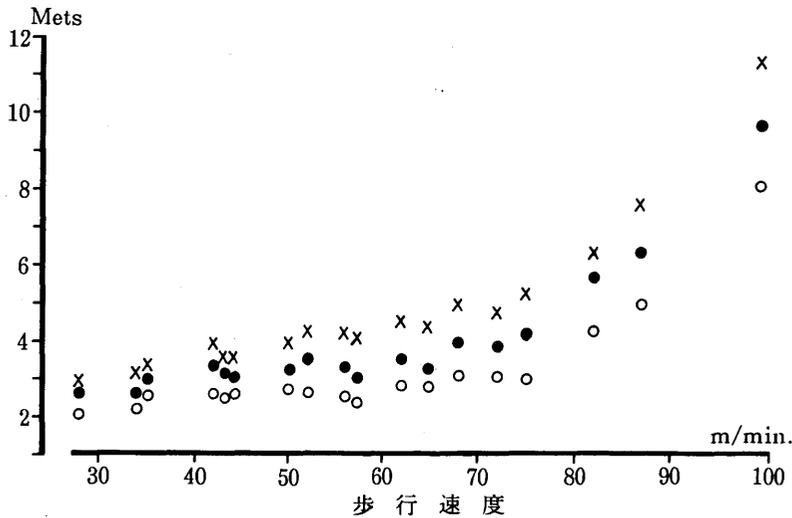


図2 歩行速度 (m/分) と Mets の関係
(勾配 ○ : 0% ● : 2.5% × : 5%)

拍/分 (73.3%) の値を示した。VO₂と心拍数は、速度と勾配が増すに従って増大し、75m/分からは急激に増えている。運動強度を示す Mets は、28m/分で、勾配0% 2.1、2.5% 2.7、5% 2.9、75m/分で、0% 3.0、2.5% 4.1、5% 5.2、99m/分で、0% 8.1、2.5% 9.6、5% 11.4となり、いずれも分速28mのほぼ4倍を示した。この結果は、勾配0%における杉山(22)が得た、分速90mを超えると運動強度が著しく高くなる結果よりも、本成績は遅く分速75m付近であった。また、平坦歩行に比べて勾配歩行の運動強度は、75m/分と99m/分を比較して0%で2.7倍、2.5%で2.3倍、5%で2.2倍となっているのは、杉山(21)の結果と一致した。

次に、歩行速度と歩行単位当たり酸素摂取量 (O₂ml/kg/meter) (以下、単位酸素摂取量) との関係を図3に示した。

単位酸素摂取量は、分速70m前後を最小に歩行速度が増減しても酸素摂取量が増加している。この傾向は、勾配が異なっても同様であった。その結果、歩行の経済速度は72~75m/分でその時の歩数は96~116歩/分で、しかも歩幅は65~75cmが得られた。これは、加賀谷(4,5,6)のいう日本人男子の自然で、快適な歩行速度(経済速度)は、74.8m/分、102.2歩/分そして65.9cmとほぼ同様の結果であり、また、Ralston(13)、白井ら(17)の経済速度とも一致した。

伊藤ら(3)や奥山ら(11)は、歩行の機械的効率は分速80~90mが最高で、速度の増大と共に低くなると示唆しているが、単位酸素摂取量より求めた本報の経済速度より速い点については、佐々木ら(15)が指摘する経済速度は一般に自由歩行速度より遅いと言う事実から、当然と思われる。

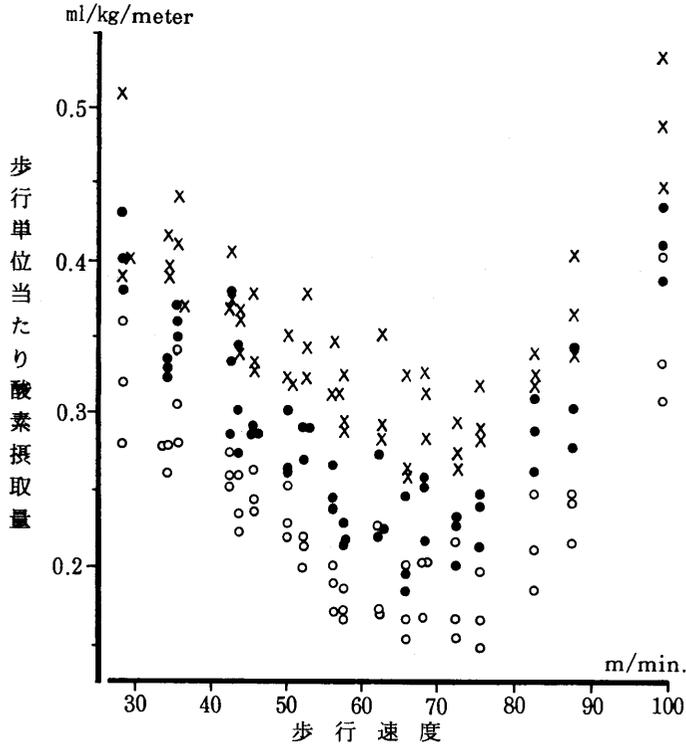


図3 歩行速度 (m/分) と歩行単位当たり酸素摂取量 (O₂ ml/kg/meter) の関係
(勾配 ○ : 0% ● : 2.5% × : 5%)

B. 歩幅の体格比と酸素摂取量

身長や脚長の長短は、同じ歩行速度でも歩幅の違いとなって表れる事は白井 (18) や指田 (16) の指摘するところである。そこで、歩幅の身長比、下肢長比と単位酸素摂取量 (O₂ ml/kg/meter) との関係それぞれ図4、図5に示した (毎分116歩の場合)。

歩数を規定したもとの単位酸素摂取量から見た経済的歩幅は、身長の約38% (図4より)、下肢長の約70% (図5より) である事が明らかとなった。

加賀谷 (5.6) は、成人男子の経済的歩幅は身長の38.4%であるとし、中学生男子についてもほぼ同じであるとしている。また、福居 (1)、中村ら (8) は、小児と成人男子について単位酸素摂取量が最小となるのは共に、歩幅の下肢長比が70%であるとしている。

歩幅が身長の46%以上になると (図4)、単位酸素摂取量が著しく増加しているのは、歩行の効率が悪くなっているためであり、これ以上の歩幅の増加は通常歩行ではなく、むしろ歩数や歩行速度の増加が著しく大きくなって行くことが自然と考えられる。また、歩数が96歩/分についても、同様であった。歩幅が身長の46%前後の時エネルギー消費が最も小さいことは、齊藤ら (14) も同様の知見を得ている。

もし、歩行によって体力向上を目的とするならば、経済歩行速度を上回る速度であり、しかも、傾斜地での歩行が効果をもたらす。特に、中高年者の運動が、走行よりも、歩行が推奨される理由は、速歩きでの酸素需要量が、同速度での走行のそれよりも大きいからである。

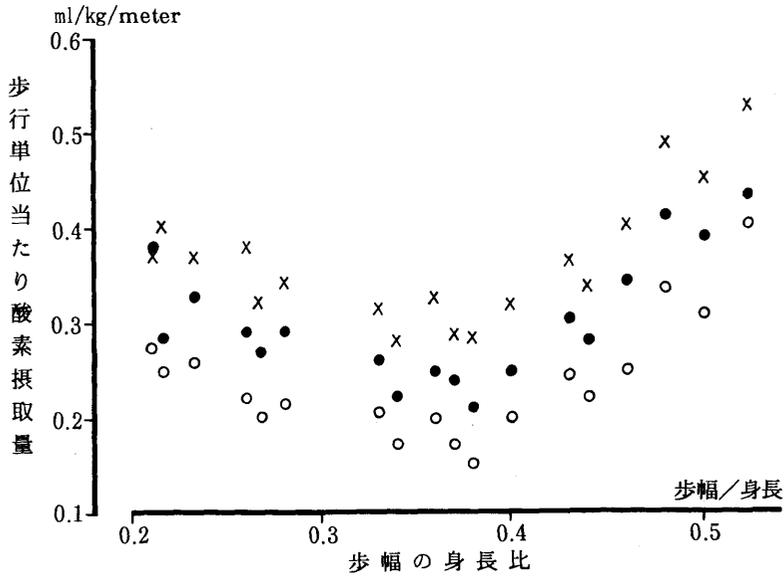


図4 歩幅の身長比と歩行単位当たり酸素摂取量 (O_2 ml/kg/meter) の関係
 一歩数 116 歩/分の場合—
 (勾配 ○ : 0% ● : 2.5% × : 5%)

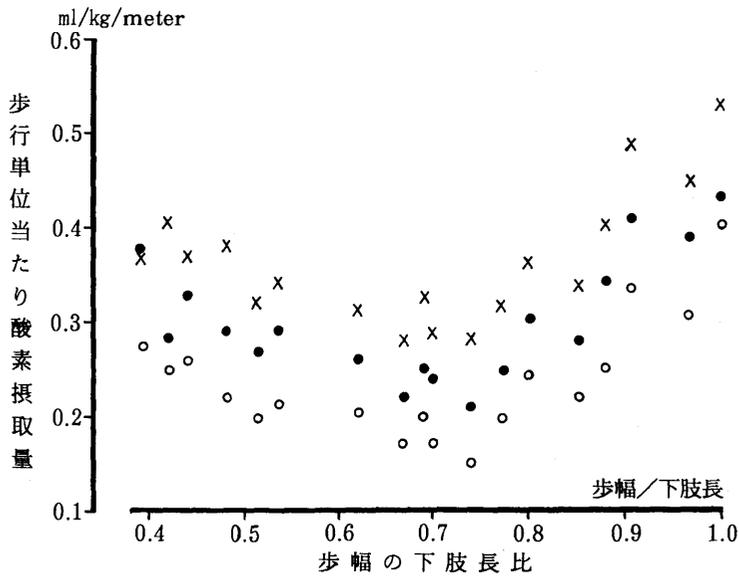


図5 歩幅の下肢長比と歩行単位当たり酸素摂取量 (O_2 ml/kg/meter) の関係
 一歩数 116 歩/分の場合—
 (勾配 ○ : 0% ● : 2.5% × : 5%)

IV. ま と め

本報では、健康な成人男子3名について、トレッドミルを用い、勾配、歩行速度、歩幅の違いによる酸素摂取量、心拍数を測定し、歩行のoptimalな条件を求め、既報の値と比較し、以下の結果を得た。

A. 歩行速度と酸素摂取量の関係は、歩行速度の増加と勾配の上昇に伴い酸素摂取量は増加し、勾配0%の時、28m/分で最大酸素摂取量($\dot{V}O_2 \max$)の15.2%、75m/分で21.8%、99m/分では58.7%であった。また、勾配2.5%では、28m/分で19.1%、75m/分で29.7%、そして99m/分で69.0%、更に勾配5%では、28m/分で21.5%に対し、75m/分で37.9%、そして99m/分で81.2%であった。心拍数も増加し、勾配0%の時、28m/分で最高心拍数(H. R. max.)の38.7%、75m/分で45.3%、99m/分では65.2%であった。また、勾配5%では、28m/分で48.5%に対し、75m/分で58.2%、そして99m/分で73.3%であった。 VO_2 と心拍数は、速度と勾配が増すに従って増大し、ほぼ75m/分から急激に増えていた。運動強度を示すMetsは、いずれも分速99mでは分速28mのほぼ4倍を示した。また、平坦歩行に比べて勾配歩行の運動強度は、75m/分と99m/分を比較して、0%で2.7倍、2.5%で2.3倍、5%で2.2倍であった。

B. 歩行速度と歩行単位当たり酸素摂取量($O_2 \text{ml/kg/meter}$)の関係から、歩行の経済速度は72~75m/分で、その時の歩数は96~116歩/分で、しかも歩幅は65~75cmであった。

C. 歩幅の体格比と酸素摂取量の関係より、歩数を規定したもとの歩行単位当たり酸素摂取量から見た経済的歩幅は、身長約38%、下肢長の約70%である事が明らかとなった。

D. 以上の結果は、既報の値とほぼ同様であった。

文 献

- 1) 福居謙三(1953) : 小児日常動作のエネルギー代謝に関する研究 歩行編. 長崎県総合公衆衛生学雑誌, 2, 1-28.
- 2) 星川 保, 宮下充正, 松井秀治(1971) : 歩及び走における歩幅と歩数に関する研究, 各種速度における歩幅と歩数の関係. 体育学研究, 16, 157-162.
- 3) 伊藤 稔, 伊藤一生, 里見仁志(1982) : トレッドミル歩行法の負荷量とその特性について. 体力科学, 31, 415.
- 4) 加賀谷熙彦(1984) : スピード・ストライド関係からみたカナダ人の歩行能力の特徴, 体力科学, 33, 114-115.
- 5) Kagaya.Hirohiko (1984) : Walking ability of Japanese boy aged 11 to 12 years. Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med., 33, 250-251.
- 6) 加賀谷熙彦(1984) : 日本人中学生の歩行の経済スピードと境界スピード, 体力科学, 33, 491.
- 7) 長沢 弘, 小林寛道, 水野義雄, 松尾秀治(1976) : 歩行運動による中高年者のトレーニング効果に関する研究 ($\dot{V}O_2 \max$ 70%負荷で1年間トレーニングした場合). 体力科学, 25, 7-25.
- 8) 中村 正, 臼谷三郎, 石田良栄, 荻野幸男(1962) : 歩行のエネルギー代謝に関する研究-

- 特にその数理的検討一。日本公衛誌, 9, 641-646.
- 9) 小笠原道生 (1934) : 同速度の歩行と走行とに於ける酸素需要量に就て。体育研究, 2, 215-230.
 - 10) 小笠原道生 (1936) : 同速度の歩行と走行とに於ける酸素需要量に就て (追加)。体育研究, 3, 508-513.
 - 11) 奥山美佐雄, 古澤一夫 (1936) : 歩行の機械的効率・労働科学研究, 13, 491-499.
 - 12) 小野三嗣, 宮崎義憲, 渡辺雅之, 池田道明, 長尾憲樹, 山本隆宣, 清水悟, 原英喜, 小野寺昇, 田中弘之, 湊久美子, 原田邦彦, 小川芳徳, 春日規克 (1981) : 長距離歩行の至適処方方の確立のための基礎的研究 (その一)。体力科学, 30, 193-205.
 - 13) Ralston.H.J. (1958) : Energy-speed relation and optimal speed during level walking. *Int.Z. angew. Physiol.einschl. Arbeitsphysiol.*, 17, 277-283.
 - 14) 齊藤美奈子, 加賀谷熙彦, 森井秀樹, 中川喜直, 木村直人, 吉田博幸, 広田公一 (1991) : 競歩の生理学的研究-歩行スピードと酸素需要量の関係-, 体力科学, 40, 31-40.
 - 15) 佐々木隆, 照屋常吉, 田代芳弘, 林 春二, 山田高明 (1957) : 歩行時のエネルギー代謝率と体力との関係。体育学研究, 2, 177-180.
 - 16) 指田吾一 (1962) : 青少年の代謝能に関する研究 (其の四) 自由歩行に於けるエネルギー需要量の年齢的差異に就て。体力科学, 2, 114-119.
 - 17) 白井伊三郎, 古澤一夫 (1937) : 筋労作に於ける optimal speed に就て。日生誌, 2, 80-81.
 - 18) 白井伊三郎 (1938) : 自由歩行に於けるエネルギー需要量の個人差に就いて。体育研究, 6, 155-166.
 - 19) 白井伊三郎, 指田吾一 (1962) : 青少年の代謝能に関する研究 (其の二) 筋労作に於ける経済速度の年齢的相異に就て。体力科学, 2, 101-107.
 - 20) 曾我誠二, 上岡 孝, 杉山允宏 (1982) : 中高年齢者の歩行の運動強度。体力科学, 31, 214.
 - 21) 杉山允宏, 桐島日出夫, 平谷昭彦, 大八木達也 (1982) : 勾配の違いによる歩行の運動強度。体力科学, 31, 133-134.
 - 22) 杉山允宏 (1982) : 速度の違いによる歩行の運動強度。体力科学, 31, 213-214.