

総 説

ヒトの歩行

—歩幅、歩調、速度およびエネルギー代謝の観点から—

山崎昌廣¹⁾・佐藤陽彦²⁾

1) 広島大学総合科学部保健体育講座

2) 九州芸術工科大学人間工学教室

要約 歩行研究は日常生活における自然歩行と実験室内で実施される実験歩行に分けることができる。これらの方法から得られた結果は同じ速度であっても一致しないものがあり、またそれぞれの実験条件でしか観察できない内容もある。そこで、本稿では両者の結果を示すことにより、その違いを明確にしながヒトの歩行の特徴を論じた。歩行の特徴は歩幅および歩調を資料として速度、性、年齢および民族別に考察した。またこれに加えて、自然歩行では時代、履物および地域差についても論じた。実験歩行については床歩行とトレッドミル歩行に分け、歩行時の上肢動作およびエネルギー代謝量についても言及した。

キーワード 歩行 歩幅 歩調 速度 エネルギー代謝量

はじめに

ヒトの直立二足歩行は他の動物にはみられない特徴的な移動手段であるために、古くから多くの研究者の興味を引き、人類学分野だけでなく、運動学、生理学、人間工学など広い分野での研究が進められてきた。研究目的は各分野においてももちろん異なっているが、その方法は基本的に変わらない。歩行研究方法には自然な歩行動態を観察した自然歩行や、実験室内において実施される床あるいはトレッドミル上での実験歩行などがある。

自然歩行は生体条件だけでなく、心理的、社会的なさまざまな条件によって制約を受けるので、実験歩行によって観察された歩行パターンとは異なっている。また同じ実験歩行でも床と

トレッドミルでは、歩行パターンやエネルギー代謝量に違いが観察されている (MURRAY *et al.*, 1985; PEARCE *et al.*, 1983)。従って、ヒトの歩行を論じるにはこれらの実験条件を明確にする必要がある。

本稿の目的はヒトの歩行の特徴を、歩幅、歩調、速度およびエネルギー代謝量の面から明らかにすることである。この目的のためには、自然歩行と実験歩行には上述した違いがあるため、どちらか一方だけの実験結果を示すのでは十分でない。それぞれの実験条件でしか観察できない情報があるからである。そこで、両者の結果を示すことにより、その違いを明確にしながヒトの歩行の特徴を論じた。

歩行分析に用いられる単語は統一されていない。Fig. 1 は MURRAY *et al.* (1964) の用語に、

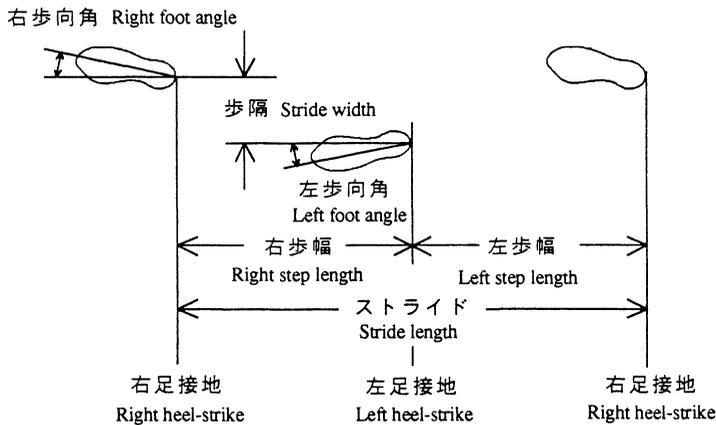


Fig. 1. Schematic representation of stride dimensions.

通常よく使用される邦語を付けたものである。歩行では片方の足が着地してから、他方の足が着地するまでの踵間の距離を歩幅 (step length) という。ストライド (stride length) は片方の足が着地してから、さらに同じ足が着地したときの踵間距離をいう。歩調 (cadence) というのは1分間当たりの歩数を指している。

自然歩行

人間が歩く速度はどれ程であろうか。スタディオンの語源であるスタディオンは古代バビロニアにおける距離の単位で、朝、砂漠の地平に太陽が現われ始めてから地平を離れるまでの時間に人間が歩いた距離を1スタディオンとした。太陽が地平を出切るまでの時間が2分で、1スタディオンは185~192 mなので、これから計算した歩行速度は約95 m/分となる。

一般に、実験歩行に比べて自然歩行においては歩行速度、歩幅、歩調とも大きいので (FINLEY and CODY, 1970; SATO and ISHIZU, 1990), 人間のリズム特性の解明や道路環境設計の資料として歩行の実態の把握は重要であるにも拘らず、歩行の実態を調査した報告は意外に少ない。これには調査方法における困難性が影響していると思われる。また、歩行動態には

歩行者の特性 (年齢, 性, 体格, 民族, 身体の状態など), 着条件 (履物, 衣服, 携帯品など), 歩行路条件 (路面の状態, 勾配, 路の形状など), 気象条件 (天気, 気温, 風向, 風速, 明るさ, 視界, 季節など), 歩行状況 (同伴者の有無, 対向者の有無, 群集密度, 障害物の有無など), 心理的条件 (歩行目的, 時刻, 場の熟知度, 心理的状态, 地区, 地域など) など多くの要因が複雑に絡み合って影響を及ぼしているので, 調査結果の分析整理にも困難性が伴う。

石川 (1925) は1924年の秋, 晴天の日の午後2時~4時に岡山県某町の平坦路の通行人について歩行を調査した。50 mを歩行するのに要する時間と歩調を測定し, その後に年齢などをきいて得られた結果が Table 1 である。ここでは4歳から77歳までの373名の通行人 (男性193名, 女性180名) について性別と年齢帯別の歩行速度, 歩幅, 歩調の平均値が示されている。

大谷 (1933) は1930年度から1932年度にかけて児童, 生徒, 一般人の総計7171名につき自然歩行における歩調と歩幅の測定を行い, その結果を年齢, 性, 身長と関連づけて発表している。測定方法の記述がないため, 歩行者が測定されていることを意識していたかどうかは不明

Table 1. Gait patterns reported by ISHIKAWA (1925)

| Age (years) | Men | | | Women | | | | |
|----------------|-----|--------------------------|---------------------|------------------------|----|--------------------------|---------------------|------------------------|
| | N | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) | N | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) |
| 0-9 | 15 | 58.7 | 44.5 | 132.0 | 18 | 53.1 | 38.5 | 138.1 |
| 10-19 | 33 | 72.2 | 61.6 | 117.3 | 44 | 64.4 | 52.0 | 123.8 |
| 20-29 | 40 | 78.7 | 66.4 | 118.6 | 31 | 63.1 | 51.3 | 122.9 |
| 30-39 | 25 | 79.6 | 67.3 | 118.3 | 22 | 63.5 | 50.4 | 126.1 |
| 40-49 | 26 | 75.3 | 61.9 | 121.6 | 23 | 62.8 | 50.7 | 123.8 |
| 50-59 | 28 | 76.5 | 63.8 | 119.8 | 24 | 59.5 | 47.3 | 125.8 |
| 60-69 | 19 | 74.6 | 60.8 | 122.6 | 13 | 53.1 | 46.1 | 115.1 |
| 70-79 | 7 | 58.2 | 52.4 | 111.0 | 5 | 57.0 | 48.8 | 117.0 |

Values are means.

であるが、その結果を Table 2 に示す。大谷は児童、生徒、一般人に分けて表示しているが、ここでは重複している年齢については13歳を除いてNが大きい方を探って、男性4231名、女性2771名、総計7002名について一覧表で示した。

阿久津(1975)は東京の街で50mまたは100mの直線コースで自然歩行の実態を調査した。調査時点、調査方法、歩行状況などの詳細については不明であるが、0歳から79歳までの男性790名と女性839名について50m歩行の所要時間と歩数、および歩幅が発表されている。その結果を、歩行速度と歩調に換算して、歩幅とともに Table 3 に示した。

SATO and ISHIZU (1990) は1987年12月下旬の晴天の日に福岡市の住宅地区で歩行実態を調査した。平坦路の50mを通過するのに要する時間と歩数の測定から、15歳以上の男性139名と女性479名の歩行速度と117名の男性と292名の女性の歩幅および歩調を得ている。その結果を、履物を問わず単独歩行とグループ歩行を一緒にして男女別、年齢群別、歩行時間帯別に示したのが Table 4 である。

歩行のしかたには変異が大きい。SATO and ISHIZU (1990) の報告における範囲は、歩行速度で男性49.8-119.0 m/分、女性52.1-112.8 m/

分、歩幅で男性51.0-90.9 cm、女性51.5-86.2 cm、歩調で男性95.5-139.1 歩/分、女性97.7-159.7 歩/分である。渡辺(1982)は種々の出典から集めた歩行速度をランク別の一覧表にして示している。なお、歩調は正規分布に従うことが確かめられている(遠藤, 1980)。

Table 1-4 から歩行に及ぼす年齢と性の影響が窺われる。12歳以下の者と高齢者はその中間の年齢層に比べて小さな歩幅をしており歩行速度は遅い。歩調は低年齢で多く、高齢で少ない。男女を比べると、一般に、男性の方が平均歩行速度は大きく、歩幅は男性で、歩調は女性で大きい。同じ傾向は米国でも観察されている(FINLEY and CODY, 1970)。しかし、単独歩行の若い男女間の歩行速度の差は小さい(SATO and ISHIZU, 1990)。

歩行動態の時代による変化をみるために、SATO and ISHIZU (1990) の昼間の値(Table 4)を石川(1925)の結果(Table 1)と比較すると、現在の方が大股で速く歩いているが、歩調は昔と変わらない。歩幅の違いには下肢長と服装の違いが影響していると考えられるが、特に女性については歩容の違い(田代, 1907)も影響していることであろう。

単独歩行に比べて同伴者がいるグループ歩行では歩幅が小さく歩行速度が遅い(SATO and

Table 2. Gait patterns reported by OTANI (1933)

| Age (years) | Men | | | Women | | |
|----------------|-----|---------------------|------------------------|-------|---------------------|------------------------|
| | N | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) | N | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) |
| 7 | 163 | 53 (5.4) | 161 (12.6) | 147 | 50 (4.2) | 154 (11.7) |
| 8 | 204 | 57 (5.6) | 153 (11.5) | 250 | 53 (5.3) | 149 (11.7) |
| 9 | 191 | 59 (5.6) | 148 (10.8) | 225 | 56 (5.0) | 144 (11.1) |
| 10 | 202 | 60 (5.4) | 141 (10.7) | 185 | 59 (5.3) | 138 (8.8) |
| 11 | 170 | 64 (6.3) | 138 (9.2) | 190 | 63 (6.1) | 138 (9.2) |
| 12 | 173 | 68 (5.4) | 134 (8.8) | 176 | 65 (6.3) | 136 (8.6) |
| 13 | 46 | 70 (6.5) | 131 (7.6) | 143 | 69 (5.3) | 139 (8.9) |
| | 55 | 78 (5.1) | 126 (6.3) | 67 | 71 (4.8) | 131 (5.8) |
| 14 | 103 | 80 (6.0) | 125 (7.2) | 137 | 72 (4.3) | 129 (6.0) |
| 15 | 116 | 83 (6.6) | 121 (8.0) | 134 | 73 (4.2) | 127 (5.5) |
| 16 | 125 | 84 (6.4) | 121 (7.3) | 166 | 74 (5.3) | 127 (6.8) |
| 17 | 118 | 84 (6.0) | 121 (7.5) | 129 | 75 (5.5) | 127 (5.8) |
| 18 | 66 | 84 (7.5) | 123 (8.4) | 68 | 76 (5.2) | 125 (6.8) |
| 19 | 54 | 73 (7.2) | 121 (7.0) | 72 | 60 (4.9) | 125 (7.0) |
| 20 | 70 | 73 (6.1) | 121 (6.5) | 87 | 60 (5.7) | 126 (8.8) |
| 21 | 112 | 74 (6.6) | 120 (7.6) | 62 | 60 (4.9) | 126 (7.6) |
| 22 | 96 | 75 (6.0) | 120 (7.9) | 68 | 60 (5.9) | 127 (7.8) |
| 23 | 129 | 74 (6.1) | 120 (7.4) | 79 | 60 (5.7) | 127 (7.7) |
| 24 | 130 | 73 (6.5) | 120 (7.2) | 65 | 60 (4.4) | 126 (7.5) |
| 25 | 153 | 74 (4.8) | 120 (6.9) | 38 | 59 (4.5) | 128 (10.2) |
| 26 | 114 | 73 (6.3) | 119 (7.2) | 32 | 58 (4.2) | 130 (7.4) |
| 27 | 116 | 73 (6.4) | 120 (8.1) | 26 | 60 (4.1) | 129 (8.3) |
| 28 | 110 | 73 (5.9) | 120 (7.3) | 33 | 58 (5.0) | 130 (8.4) |
| 29 | 104 | 73 (6.0) | 122 (8.6) | 7 | 58 (11.1) | 128 (5.0) |
| 30 | 92 | 72 (5.9) | 121 (8.2) | 29 | 58 (4.5) | 128 (9.0) |
| 31-32 | 174 | 73 (6.2) | 120 (7.0) | 29 | 57 (5.7) | 127 (8.5) |
| 34 | 132 | 71 (6.3) | 120 (8.1) | 28 | 57 (4.8) | 131 (9.6) |
| 36 | 124 | 72 (6.1) | 119 (7.2) | 17 | 56 (5.2) | 127 (6.9) |
| 38 | 101 | 71 (5.8) | 121 (8.5) | 15 | 58 (8.8) | 124 (5.9) |
| 40 | 109 | 71 (5.6) | 121 (7.8) | 13 | 57 (4.0) | 125 (4.7) |
| 42 | 80 | 70 (5.1) | 121 (8.2) | 7 | 57 (3.3) | 126 (6.2) |
| 44 | 71 | 70 (5.6) | 120 (8.5) | 10 | 56 (3.2) | 129 (7.1) |
| 46 | 79 | 71 (6.2) | 118 (7.5) | 10 | 55 (4.0) | 138 (7.4) |
| 48 | 76 | 69 (6.1) | 119 (7.8) | 9 | 57 (5.0) | 135 (7.1) |
| 50 | 67 | 69 (5.4) | 121 (8.6) | 5 | 61 (5.5) | 122 (4.1) |
| 51-55 | 126 | 68 (5.7) | 120 (7.5) | 5 | 52 (3.5) | 132 (7.0) |
| 60 | 48 | 66 (6.1) | 120 (7.9) | 8 | 56 (6.8) | 133 (8.4) |
| 65 | 24 | 69 (5.5) | 119 (5.1) | | | |
| 70 | 4 | 64 (8.2) | 115 (8.8) | | | |
| 75 | 2 | 64 (3.5) | 112 (9.5) | | | |
| 80 | 2 | 58 (2.0) | 114 (4.5) | | | |

Values are means (SD).

Table 3. Gait patterns modified from AKUTSU (1975)

| Age (years) | Men | | | Women | | | | |
|----------------|-----|--------------------------|---------------------|------------------------|-----|--------------------------|---------------------|------------------------|
| | N | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) | N | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) |
| 0-4 | 26 | 59.0 (7.3) | 41.7 (6.2) | 146.8 (26.9) | 30 | 54.2 (9.2) | 46.6 (3.2) | 130.2 (19.7) |
| 5-9 | 32 | 59.2 (8.1) | 49.3 (7.8) | 122.1 (16.8) | 26 | 64.9 (9.7) | 49.6 (6.0) | 132.5 (16.0) |
| 10-14 | 26 | 66.5 (12.1) | 57.3 (12.1) | 109.5 (19.7) | 34 | 79.1 (9.8) | 63.0 (3.0) | 125.0 (14.7) |
| 15-19 | 39 | 91.6 (13.3) | 75.2 (7.5) | 124.5 (11.6) | 58 | 72.0 (8.1) | 66.1 (7.0) | 110.2 (12.0) |
| 20-24 | 82 | 87.6 (9.9) | 75.0 (7.7) | 116.8 (11.9) | 144 | 74.1 (12.7) | 64.5 (5.8) | 114.9 (10.0) |
| 25-29 | 92 | 85.2 (10.4) | 74.8 (7.1) | 114.7 (10.5) | 95 | 74.2 (9.4) | 61.3 (3.9) | 120.1 (10.0) |
| 30-34 | 58 | 95.5 (13.6) | 74.4 (7.6) | 128.6 (12.4) | 66 | 72.2 (9.3) | 59.1 (5.7) | 122.2 (12.7) |
| 35-39 | 42 | 85.3 (13.5) | 71.6 (6.9) | 118.2 (11.3) | 40 | 67.2 (8.6) | 59.8 (5.8) | 111.0 (13.0) |
| 40-44 | 42 | 82.3 (9.1) | 71.3 (10.6) | 116.6 (8.0) | 41 | 71.0 (9.1) | 60.1 (1.7) | 118.1 (10.2) |
| 45-49 | 51 | 82.5 (12.2) | 71.5 (10.0) | 116.2 (13.4) | 72 | 78.6 (15.1) | 58.8 (6.2) | 133.6 (13.6) |
| 50-54 | 63 | 77.8 (10.5) | 69.0 (7.1) | 118.5 (12.4) | 49 | 67.2 (10.5) | 58.1 (6.8) | 116.5 (13.5) |
| 55-59 | 82 | 72.6 (8.8) | 65.9 (7.7) | 109.6 (11.5) | 42 | 63.5 (6.4) | 56.3 (7.0) | 114.2 (16.3) |
| 60-64 | 54 | 70.1 (9.7) | 64.4 (8.2) | 109.9 (13.7) | 44 | 59.2 (8.1) | 53.8 (5.5) | 110.0 (13.4) |
| 65-69 | 57 | 63.8 (7.7) | 61.3 (6.4) | 101.7 (11.0) | 48 | 59.8 (8.3) | 53.8 (7.7) | 119.2 (12.6) |
| 70-74 | 32 | 60.7 (7.8) | 58.0 (5.9) | 105.8 (10.4) | 32 | 55.0 (6.7) | 49.7 (7.0) | 112.2 (12.8) |
| 75-79 | 12 | 54.5 (6.0) | 54.0 (6.2) | 108.1 (10.5) | 18 | 50.7 (5.0) | 46.8 (7.0) | 109.2 (15.2) |

Values are means (SD).

ISHIZU, 1990)。履物の違いに関しては女性における平靴とハイヒールが比較されている。実験歩行ではハイヒール着用により歩調は変化せず、歩幅が小さくなり歩行速度が減少することが報告されているが (MURRAY *et al.*, 1970; MERRIFIELD, 1971), 自然歩行においてはヒールの高さの影響は観察されていない (SATO and ISHIZU, 1990)。この不一致にはヒール高、歩行条件 (実験歩行では同一人が平靴とハイヒールを着用)、民族が影響していることが考えられる。単独歩行者において比較すると、歩行速度、歩幅、歩調とも昼間に比べて朝は大きく、夕方は小さい傾向がある (SATO and ISHIZU, 1990)。

歩道の勾配が 1.25-3.25 度では歩行の向きは歩行動態に影響しないことが報告されており (FINLEY and CODY, 1970), カーブを歩くときは時計まわりよりも反時計まわりの方が歩行速度が速いことが報告されている (SUHAIL and HALEEM, 1985)。煙の中での歩行速度も研究されており (神, 1975), 一般に煙濃度の増加に

従って歩行速度は低下し、低下の程度は煙の目への刺激の度合に左右される。

FINLEY and CODY (1970) はフィラデルフィアのショッピングセンター、小商業地域、住宅地区、都心繁華街の歩行者を調査し、歩調には地区による差は認められず、歩行速度と歩幅は都心繁華街が他の地区より大きいことを見出している。辻村・長山 (1979) は歩行速度の地域差を報告しており、速度を m/分で表すと、大阪市 100.2, 東京都区内 93.6, 長野市 91.8, 松江市 90.0, 名古屋市 89.4, 仙台市 88.2, 広島市 87.6, 秋田市 87.0, 静岡市 86.4, 島根県斐川町 85.8, 福島市と前橋市 83.4, 高知市と三島市と水戸市と浦和市 82.2, 福岡市と高松市 81.0, 鹿児島市 79.8, 福島県桑折町 69.5 となっている。これらの値は 10 m 歩行の所要時間から求められたものであり、歩行速度には多くの要因が影響するので断定的なことはいえないであろうが、大雑把な傾向として興味深い。なお、パリ 87.6, マニラ 74.4 という速度も同時に報告されている。

Table 4. Gait patterns reported by SATO and ISHIZU (1990)

| Age Group (estimated age, years) | | | Walking Speed (m/min) | | Step Length (cm) | | Cadence (steps/min) | |
|-------------------------------------|------------------------|---------|--------------------------|-----------|---------------------|-----|------------------------|--|
| | | | N | Mean±SD | Mean±SD | N | Mean±SD | |
| Women | Young (15-24) | Morning | 150 | 82.8±10.2 | 64.9±5.5 | 57 | 127.6±12.3 | |
| | | Daytime | 146 | 84.0± 8.1 | 66.3±4.9 | 103 | 125.8± 9.4 | |
| | | Evening | 79 | 77.6± 9.0 | 63.8±4.6 | 46 | 121.7±11.6 | |
| | Prime (25-34) | Morning | 34 | 94.1± 8.9 | 68.8±5.3 | 29 | 136.8±10.6 | |
| | | Daytime | 16 | 82.9±10.0 | 64.1±5.1 | 15 | 128.9±13.8 | |
| | | Evening | 9 | 80.2± 5.4 | 63.2±2.1 | 6 | 123.7± 7.8 | |
| | Middle-aged (35-44) | Morning | 11 | 85.6± 7.0 | 63.6±3.3 | 10 | 135.7±13.2 | |
| | | Daytime | 6 | 79.0± 8.3 | 63.9±6.2 | 5 | 124.8± 8.6 | |
| | | Evening | 4 | 76.7± 3.0 | 62.2±2.8 | 2 | 120.2± 5.3 | |
| | Older (45-) | Morning | 5 | 73.0±12.4 | 57.8±3.8 | 4 | 121.8±17.1 | |
| | | Daytime | 13 | 71.9± 8.0 | 59.2±4.6 | 11 | 122.3± 9.8 | |
| | | Evening | 6 | 62.6± 5.8 | 55.0±2.4 | 4 | 112.1± 6.3 | |
| Men | Young (15-24) | Morning | 11 | 93.3± 9.8 | 77.6±6.2 | 10 | 120.4± 6.5 | |
| | | Daytime | 5 | 90.7±14.1 | 75.0±8.0 | 4 | 116.2± 7.7 | |
| | | Evening | 9 | 78.0±10.8 | 70.6±9.3 | 9 | 110.6± 6.3 | |
| | Prime (25-34) | Morning | 25 | 97.6± 8.0 | 77.8±5.0 | 19 | 127.8± 6.9 | |
| | | Daytime | 3 | 86.5±11.9 | 74.4±4.5 | 3 | 116.4±16.5 | |
| | | Evening | 6 | 86.2± 8.8 | 73.7±6.4 | 6 | 117.0± 6.3 | |
| | Middle-aged (35-44) | Morning | 31 | 94.1± 9.0 | 76.2±5.4 | 29 | 123.0± 7.7 | |
| | | Daytime | 8 | 86.0±10.1 | 72.0±7.2 | 8 | 119.3± 7.0 | |
| | | Evening | 4 | 83.5± 8.8 | 67.4±5.7 | 2 | 115.1± 4.4 | |
| | Older (45-) | Morning | 18 | 84.6±16.1 | 71.1±7.4 | 12 | 115.4±10.6 | |
| | | Daytime | 12 | 77.4± 8.3 | 68.7±6.2 | 9 | 113.1± 5.0 | |
| | | Evening | 7 | 80.1±11.5 | 69.8±9.9 | 6 | 113.5± 7.2 | |

Morning, 7 : 30-10 : 00; Daytime, 10 : 00-15 : 30; Evening, 15 : 30-18 : 00.

歩調に関しては、遠藤・足立(1983)が札幌、青森、仙台、新潟、金沢、東京、名古屋、岡山、徳島、熊本の各都市で平均値に差がないことを報告している。

歩行の民族による差をみてみよう。年齢分布や種々の歩行条件の違いのため正確な比較は困難であるが、SATO and ISHIZU (1990)の日本人とFINLEY and CODY (1970)の米国人を比較する。SATO and ISHIZUの全体の平均値は歩行速度(m/分)、歩幅(cm)、歩調(歩/分)がそれぞれ男性で88.8、74.1、119.5、女性で82.4、65.0、126.6である。これに対してFINLEY and CODYの各歩行指標は4地区全体の平均値では男性で

82.1、74.1、110.5、女性で74.0、63.4、116.5である。日本人は米国人に比べて多い歩調で速く歩いている。歩幅は同じくらいである。今野ら(1980)は男性の歩行について福岡市および久留米市の日本人とカトマンズ市のネパール人について比較している。歩行速度(m/分)の福岡、久留米、カトマンズにおける平均値はそれぞれ朝で88.5、86.8、90.3、夕方で82.0、81.0、88.2、歩幅(cm)はそれぞれ朝で72.6、72.5、75.0、夕方で68.0、66.9、73.2、100m当たりの歩数はそれぞれ朝で13.9、13.9、13.3、夕方で14.8、15.1、13.7である。歩行速度の平均値を用いて100m当たりの歩数を歩調に換算するとそれぞれ朝で123.0、

120.7, 120.1, 夕方では 121.4, 122.3, 120.8 となる。ネパール人は日本人に比べて大股で速く歩いている。

実験歩行

実験歩行とは歩行研究を行うために実験的に実施される歩行のことであって、トレッドミル歩行と床歩行に分けられる。実験歩行では歩行条件を制約することにはなるが、歩行の定性的分析だけでなく数学的定量分析が可能である。特にトレッドミルを用いると歩行速度をあらかじめ設定することができるために、歩行におよぼす体格や生理機能の影響を観察することができる。しかしながら、前章でも論じているように、実験歩行の歩行パターンは自然歩行と同じではない。さらに、同じ歩行速度であってもトレッドミル歩行の方が自然歩行あるいは床歩行よりも歩幅は短くなり、従って歩調は多くなる (MURRAY *et al.*, 1985; 山崎昌廣, 1988)。

この章では実験的に行われた資料を基に、歩幅および歩調の変化を歩行速度、体格、年齢、性および民族差の面から検討する。さらに歩行時の上肢動作およびエネルギー代謝についても言及する。

速度増大に伴って歩幅と歩調は増加するが、その増加過程は直線的ではなく曲線的な増加を示すのであって、両者とも歩行速度のほぼ 0.5 乗に比例することが知られている (GRIEVE and GEAR, 1966; MILNER and QUANBURY, 1970; YAMASAKI *et al.*, 1984)。通常、歩幅 (歩調) = $A \times V^B$ (A, B : 定数, V : 歩行速度) という回帰式で表され、たとえば成人男子について歩幅では $A=5.32, B=0.58$, 歩調ではそれぞれ 18.59 および 0.42 という値が示されている (山崎昌廣, 1988)。

それでは、速度増大には歩幅と歩調のうちどちらが大きく貢献しているのだろうか。山崎昌廣 (1988) はトレッドミル歩行において 50 m/分から 130 m/分まで 10 m 毎の速度で歩幅

を測定した。その結果、90 m/分あたりまでは歩幅および歩調が同じような増加率を示すのに対し、この速度を超える高速度では歩幅の増加率が小さくなって、明らかに直線性が消失することを示した。一方、歩調の方は高速度であっても歩幅よりも直線性が保たれていることを指摘し、90 m/分以上の速度では、歩調の方が歩幅よりも速度増大に寄与していることを示した。また、木村と神谷 (1982) は幅約 1 m, 長さ約 5 m の木製歩行台を用いて、遅歩行 (平均 49.9 m/分)、自由歩行 (81.7 m/分) および速歩行 (110.7 m/分) の速度における歩幅および歩調の結果から、速度を増すときには歩幅よりも歩調の方が大きな要因であることを示した。

身長は歩行パターンを決定する大きな要因の一つである。一般に高身長の者は低身長の者よりも歩幅、歩行速度および歩向角は大きく、逆に歩隔および臀部の前後方向への移動度は小さい (MURRAY *et al.*, 1966)。Table 5 は身長と歩幅および歩調との関係を明らかにするために、被験者を身長別に 4 つのグループに分けてトレッドミル歩行を実施した結果である (山崎昌廣, 1988)。身長が高い者ほど下肢長が長く、従って歩幅も長くなることは当然である。さらに、歩行速度によって身長差による影響の現われ方は異なっており、高速度になるほど身長の影響は大きくなる傾向がある。40 m/分の歩行速度では身長が最も低いグループと最も高いグループの歩幅の差は 6.7% にすぎなかったのが、120 m/分ではその差が 11.6% にも広がっている。また 80 m/分まではグループ間の歩幅の差は小さいのに対し、90 m/分を超える速度になると明らかな有意差が認められ、身長の影響が顕著に現れる。一方、この歩幅および歩調を身長 1.7 m 当たりに換算すると、各グループ間の差は消失してしまう (山崎昌廣, 1988)。

高齢者の歩行パターンの特徴については、歩調および歩幅の減少、重心の上下運動の減少などが古くから指摘されている (SPIELBERG,

Table 5. Step length and cadence of Japanese males in treadmill walking reported by YAMASAKI (1988)

| Height (cm) | N | Step length (cm) | | | | | Cadence (steps/min) | | | | |
|-------------|----|-----------------------|------|------|------|------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Walking Speed (m/min) | | | | | | | | | |
| | | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| ~165 | 5 | 43.4 | 54.0 | 63.1 | 71.2 | 78.5 | 92.0 | 110.9 | 126.6 | 140.2 | 152.5 |
| 165~170 | 5 | 44.7 | 56.3 | 66.4 | 75.4 | 83.6 | 89.2 | 106.1 | 120.1 | 132.2 | 143.0 |
| 170~175 | 5 | 45.0 | 57.6 | 68.7 | 78.7 | 87.9 | 88.3 | 103.5 | 115.8 | 126.3 | 135.6 |
| 175~ | 5 | 46.5 | 59.0 | 69.9 | 79.8 | 88.8 | 83.3 | 98.3 | 110.6 | 121.2 | 130.6 |
| Total | 20 | 45.2 | 57.2 | 67.6 | 76.9 | 85.5 | 87.5 | 103.8 | 117.1 | 128.6 | 138.8 |

Values are means.

1940)。YAMADA *et al.* (1988) は 23 歳から 78 歳にわたる 66 名について通常の歩行速度および歩容を再現して裸足で歩行実験を行った。その結果、身長に対する歩幅の割合は 30 歳代の 0.399 をピークとして年齢が増すにつれて低下を示し、50 歳代では 0.383, 60 歳代では 0.356, 70 歳代では 0.350 であった。また、高齢者歩行の特徴は前後方向の分力の弱い、上下運動の少ない、歩幅の短い低速歩行であり、50 歳代から歩行パターンの変化が起こることを指摘した。

MURRAY *et al.* (1969) は同程度の身長、体重である 20-87 歳の成人男子 60 人を被験者として、自由歩行および速歩行の床歩行実験を実施した。Table 6 はその中から歩幅および歩調の結果を示している。67 歳以上になると老人特有の歩行パターンを呈するようになる。すなわち、歩行速度は遅く、歩幅は短く、歩調は少な

くなり、従って歩行周期は長くなる。自由歩行での 65 歳以下の歩幅は身長の 45% であるのに対し、67 歳以上では身長の 40% であった。速歩行ではこの差は一層顕著になり、65 歳以下の被験者の歩幅は身長の 54%、67 歳以上では 45% であった。一般に、歩行速度が速くなるほど年齢の影響が顕著に現れる。なお高齢者の女子についても同じような結論が得られている (FINLEY *et al.*, 1969; MURRAY *et al.*, 1970)。

歩行パターンの性差も無視できないものがある。Fig. 2 はトレッドミル歩行時の歩幅について男女別に示したものである (YAMASAKI *et al.*, 1990)。歩幅は同じ速度であれば男子の方が女子より大きく、90 m/分を超える速度になると統計的な有意差が認められるようになる (Fig. 2 左図)。この歩幅の差は身長および下肢長の差と考えることができる。確かに身長 1 m

Table 6. Gait patterns for free and fast speed walking modified from MURRAY *et al.* (1969)

| Age (years) | N | Free Speed Walking | | | Fast Speed Walking | | |
|-------------|---|-----------------------|------------------|---------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| | | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) | Walking Speed (m/min) | Step Length (cm) | Cadence (steps/min) |
| 20-25 | 8 | 90.0 | 77.0 | 116.9 | 144.6 | 100.0 | 144.6 |
| 30-35 | 8 | 85.8 | 75.5 | 113.6 | 126.6 | 90.5 | 139.9 |
| 40-45 | 8 | 95.4 | 75.5 | 126.4 | 118.8 | 87.0 | 136.6 |
| 50-55 | 8 | 94.2 | 80.0 | 117.8 | 126.6 | 92.5 | 136.9 |
| 60-65 | 8 | 87.0 | 75.5 | 115.2 | 127.2 | 90.0 | 141.3 |
| 67-73 | 8 | 70.8 | 68.0 | 104.1 | 97.8 | 80.0 | 122.3 |
| 74-80 | 8 | 73.8 | 70.5 | 104.7 | 100.2 | 79.5 | 126.0 |
| 81-87 | 8 | 70.8 | 63.0 | 112.4 | 96.0 | 70.0 | 137.1 |

Values are means.

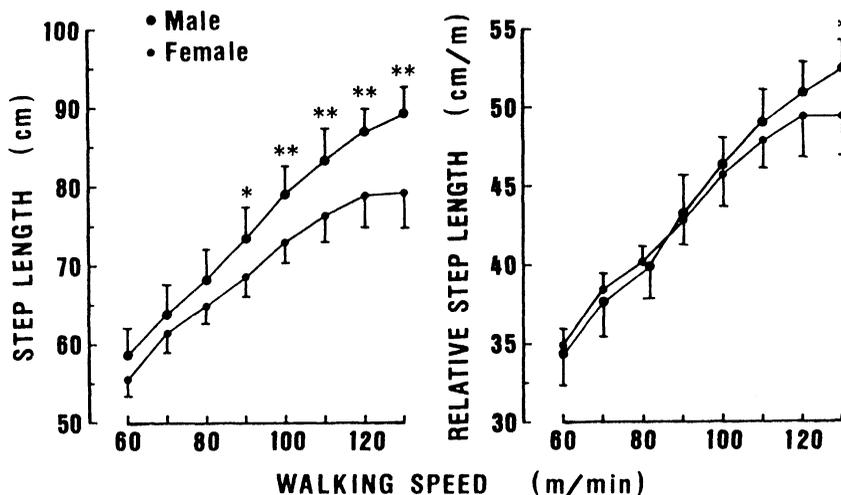


Fig. 2. The relationship between walking speed and step length (left) and normalized step length (right) in Japanese males and females. Asterisks denote the significance of the difference between sexes. (from YAMASAKI *et al.*, 1990)

当たりに歩幅を換算すると性差が小さくなる (Fig. 2 右図)。それでも 100 m/分を過ぎるころから性差がみられるようになり、130 m/分では統計的な有意差も認められる。歩幅の性差は男女の身長差だけでは説明できないのである。

MURRAY *et al.* (1970) は成人男女の床歩行の結果を比較した。そして、女子の歩幅は男子よりも明らかに短いのにに対し、歩調は僅かに多い程度であるため、自由歩行および速歩行とも速度は女子が遅いことを指摘した。ところが、この場合も歩幅を身長の割合で示すと、速歩行では男子で 53%、女子で 46% と依然として差があるのである。歩幅を身長で標準化すると 90 m/分程度だと性差は消失するか (CROWINSHIELD *et al.*, 1978) あるいは僅かであるが、100 m/分を超えると性差はなくなる (BOUYENS and KEATINGE, 1957)。この差は女子の腸骨大腿靭帯の長さが男子より短く、そのため股関節の動きが制限されて歩幅が短くなると考えられている (BOUYENS and KEATINGE, 1957)。事実、歩行中の女子の股関節の伸展・屈曲および骨盤の回転は男子より小さいことが観察され

ている (MURRAY *et al.* 1970)。

自然歩行と同様に実験歩行でも民族差が指摘されている。Fig. 3 は日本人と欧米人の男子歩幅の比較をしたものである (山崎昌廣, 1988)。上の図は身長を 1.62 m と 1.78 m として算出された歩幅であり、下の図は身長を 1.7 m に標準化して作成されたものである。日本人、Van der WALT and WYNDHAM (1973) および WORKMAN and ARMSTRONG (1963) の資料はトレッドミル歩行の結果である。DEAN (1965) のはそれまで発表された資料を基に算出されたものであって、欧米人および男子に限ったものではなく、またトレッドミル歩行と床歩行の結果が含まれている。ROSENROT and CHARTERIS (1980) の資料は床歩行だけの結果である。

Fig. 3 から日本人は欧米人よりもはるかに短い歩幅であることが窺われる。その差は身長が 1.7 m の者で速度にかかわらず約 5 cm である。日本人は欧米人と比較すると、歩幅が短いために歩調を多くすることによって速度増大に対応していることになる。

日本人男子同士の比較では、歩幅の差は身長

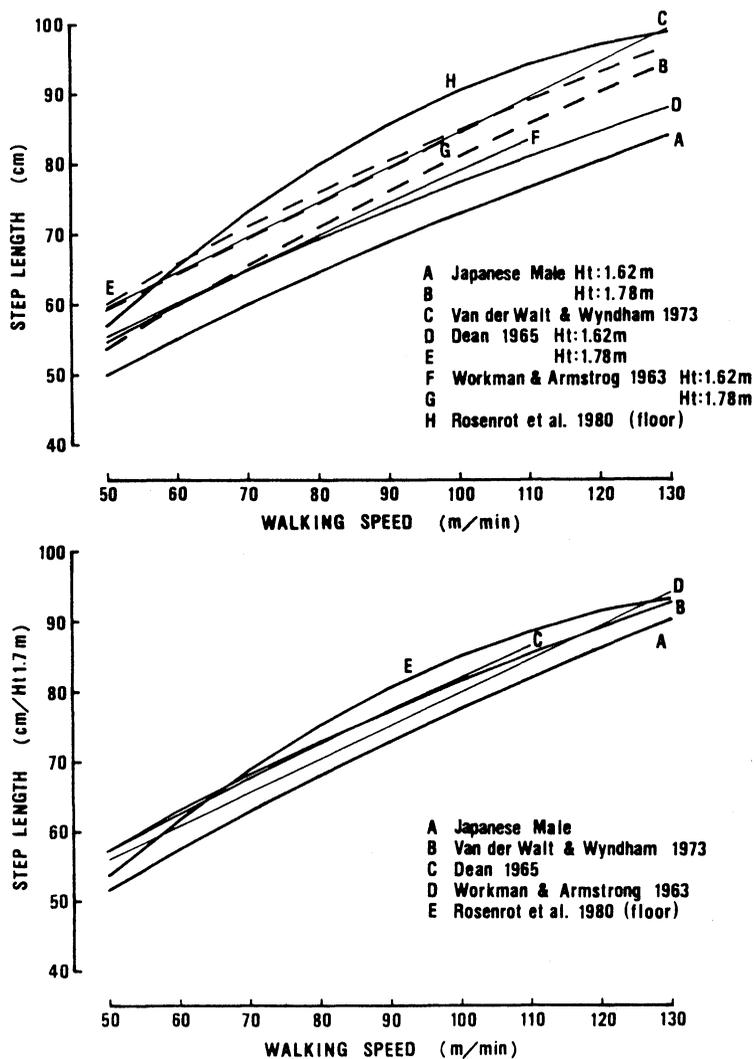


Fig. 3. The relationship of step length (upper) and normalized step length (lower) against speed reported by some authors (from YAMASAKI, 1988).

の差によって説明することができた。しかし日本人と欧米人と比較では、身長だけでなくその他の要因をも考慮しなければならないことになる。まず考えられることは、日本人の下肢長が欧米人よりも短い点である。ところが身長に加えて下肢長の長さで標準化しても歩幅の差はなくなる(山崎昌廣, 1988)。歩幅の差は性

差と同じように靭帯の長さ起因するのか、あるいは解剖学的特徴以外の機能的な要因にその原因を求めなければならないのかは不明である。

歩行中の腕の振りは受動的なものでなく、体幹の回旋に拮抗するための中枢性制御である(BALLESTEROS *et al.*, 1965)。特に高速度歩行に

なると歩行中のバランスをとる必要から一層重要になってくる。それにもかかわらず歩行中の上肢動作に関する研究が少ないのは、腕の動きは歩行に不可欠なものではないからであろう。

Table 7 にはトレッドミル歩行中の肩関節の前後方向角度を示している (山崎昌廣, 1988)。数値は踵が接地したときの肩関節の屈曲および伸展角度であって、このときの角度はおおよそ最大値を示すことが確認されている (MURRAY, 1967)。屈曲は 80 m/分あたりまでは直線的な増加を示し、その後はほぼ一定である。一方、伸展は歩行速度と直線関係にあって、

速度が速くなるほど角度は大きくなっている。また身長が高い者ほど腕の振りは小さい傾向にあり、120 m/分および 130 m/分では統計的有意差も認められている。しかし歩幅ほど身長には依存していない。

MURRAY *et al.* (1967) は自由歩行 (平均 92.4 m/分) および速歩行 (128.4 m/分) の床歩行を実施し、肩関節および肘関節角度について速度、年齢および身長別の分析を行った (Table 8)。速度増大に伴い肩関節角度は大きくなるが、これは山崎昌廣 (1988) の結果と同様に特に伸展の増加によるためである。年齢による統

Table 7. Shoulder rotation in degrees in treadmill walking reported by YAMASAKI (1988)

| Height (cm) | N | Walking Speed (m/min) | | | | | | | | |
|------------------|---|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |
| <i>Flexion</i> | | | | | | | | | | |
| below 170 | 4 | 10.7 (2.3) | 14.1 (0.7) | 15.2 (3.3) | 18.5 (4.9) | 20.0 (5.3) | 19.7 (6.2) | 18.1 (4.5) | 20.9 (4.6) | 21.0 (5.0) |
| 170-175 | 4 | 8.0 (4.0) | 8.8 (5.2) | 11.6 (5.7) | 13.2 (6.0) | 12.8 (5.6) | 10.5 (5.6) | 14.5 (4.8) | 13.8 (2.5) | 12.6 (2.9) |
| above 175 | 3 | 6.0 (4.0) | 8.2 (7.7) | 10.0 (5.0) | 14.6 (5.5) | 13.8 (6.3) | 16.1 (6.1) | 14.2 (5.8) | 14.1 (5.7) | 12.9 (6.1) |
| <i>Extension</i> | | | | | | | | | | |
| below 170 | 4 | 9.7 (2.4) | 13.8 (2.6) | 17.1 (4.6) | 18.6 (4.3) | 20.4 (4.6) | 21.9 (5.4) | 19.9 (4.0) | 23.4 (3.0) | 26.8 (5.7) |
| 170-175 | 4 | 12.3 (4.2) | 14.2 (4.2) | 16.4 (7.6) | 18.5 (5.2) | 17.7 (6.0) | 21.1 (8.3) | 20.4 (5.3) | 23.8 (8.5) | 29.0 (8.5) |
| above 175 | 3 | 9.1 (2.4) | 12.6 (7.0) | 12.6 (6.0) | 14.9 (5.4) | 15.5 (5.7) | 19.0 (7.8) | 19.2 (7.2) | 22.3 (8.3) | 21.9 (3.9) |

Values are means (SD).

Table 8. Sagittal rotation of upper limb in degrees in floor walking reported by MURRAY *et al.* (1967)

| Subject | N | Shoulder Rotation | | Elbow Rotation | |
|---------------------------|----|-------------------|------------|----------------|------------|
| | | Free Speed | Fast Speed | Free Speed | Fast Speed |
| <i>Age Groups</i> | | | | | |
| Twenty-year-old | 12 | 28 (11) | 40 (16) | 35 (10) | 42 (14) |
| Thirty-year-old | 12 | 30 (9) | 39 (9) | 26 (9) | 36 (9) |
| Forty-year-old | 12 | 39 (8) | 44 (13) | 34 (13) | 44 (9) |
| Fifty-year-old | 12 | 30 (9) | 40 (8) | 30 (8) | 46 (18) |
| Sixty-year-old | 12 | 32 (12) | 37 (14) | 27 (9) | 34 (7) |
| <i>Height Groups (cm)</i> | | | | | |
| Tall (180-185) | 20 | 31 (10) | 35 (12) | 34 (8) | 41 (10) |
| Medium (174-178) | 20 | 33 (9) | 42 (12) | 32 (10) | 42 (13) |
| Short (156-170) | 20 | 31 (12) | 42 (14) | 25 (11) | 38 (14) |
| Total | 60 | 32 (11) | 40 (13) | 30 (11) | 41 (13) |

Values are means (SD).

計的有意差は認められていないが、速歩行において60歳代のグループは肩関節および肘関節角度とも小さい傾向にあった。また肩関節角度には身長の高さも認められていない。しかし、速歩行では最も身長の高いグループの肩関節角度は他のグループより小さい傾向にある。一方、自由歩行の肘関節角度では身長が高いグループほど大きい。

歩行中の上肢動作の役割の一つは体幹の回旋を代償することである (ELFTMAN, 1939; BALLESTEROS *et al.*, 1965; MURRAY *et al.*, 1967)。従って、上肢の動きの大きさは体幹の回旋の大きさを反映していると考えられる。身長の高い者は下肢長が長いために、長い歩幅が必要になる高速度であっても、体幹を大きく回旋する必要がなく腕の振りも小さくてすむのである。これに対し、身長低いものは長い歩幅を得るために骨盤を斜めに向けなければならず、この代償のために腕の回旋が必要になるのである。

歩行時のエネルギー代謝量を扱った研究は多い。通常、歩行時のエネルギー消費量は歩行速度の二次関数として表される (たとえば PEARCE *et al.*, 1983; 山崎ら, 1988; ZARRUGH *et al.*, 1974)。GIVONI and GOLDMAN (1971) は歩行速度に加えて体重、歩行面の傾斜、外部負荷および歩行面の性質を考慮した歩行時のエネルギー代謝量推定式を示した。この式は歩行速度が2.5から9 km/時、傾斜角度25%、荷重は70 kgまで、走行では8から17 km/時、傾斜角度10%、荷重は79 kgまでの条件であれば、ほぼ正確な推定値が提供されることが確認されている。しかし、この式の欠点は最低速度が2.5 km/時であることから、PANDOLF *et al.* (1977) は低速度歩行のみならず、立位時のエネルギー消費量をも推定できるような次の式を発表した。

$$M = 1.5W + 2.0(W + L)(L/W)^2 + R(W + L) \\ (1.5V^2 + 0.35VG)$$

M: エネルギー代謝量 (watts)

W: 体重 (kg)

L: 運搬荷重の重量 (kg)

V: 歩行速度 (m/秒)

G: 傾斜 (%)

R: 歩行面係数 (トレッドミルは R=1.0)

立位で荷重がなければ体重1 kg 当たり 1.5 watts のエネルギー消費量となる。立位で荷重があるときには体重と荷重の総計量が影響し、さらに荷重と体重の比の二乗に比例する。水平歩行時のエネルギー消費量は歩行面、体重および荷重、速度の二乗に比例し、坂道になると歩行面の角度の要因が加わる。

このように PANDOLF *et al.* (1977) の推定式にはいくつかの条件が考慮されている。しかしこれだけでは十分とは言えず、実際の自然環境では風による抗力の影響も無視できない。風によるエネルギー消費量の増加は風速の二乗に比例する (PUGH, 1971; 山崎和彦, 1988)。山崎和彦 (1988) は風洞歩行実験を実施し、歩行速度が5.1あるいは5.7 km/時のとき、風速5 m/秒では風がないときより酸素摂取量の約10%の増加、風速8 m/秒では約35%も増加することを示した。さらに歩行中の被験者を進行方向とは逆に牽引した場合と風がある場合とのエネルギー消費量の比較を行い、風速5 m/秒は牽引重量1.5 kg に、風速8 m/秒は牽引重量3 kg に相当することを示した。また生体負担量を約5%上昇させる風速を臨界風速と定義し、その値は3 m/秒であるとしている。

まとめ

ヒトの走行の特徴を、歩幅、歩調、速度およびエネルギー代謝の観点を中心として考察した。歩行動態は自然な歩行と研究室での歩行とは同じではないために、自然歩行と実験歩行を区別して示した。本稿により得られた結論は次の通りである。

1) 自然歩行および実験歩行における床歩行

では、トレッドミル歩行時より歩幅は大きく、従って歩調は小さい。

2) 老人特有の歩行パターンは低速歩行、短い歩幅、歩調の減少、歩行周期の延長などである。これがいつごろから顕現するかは異論はあるが、早くて50歳を過ぎるころから歩行パターンの変化が現れてくるようである。

3) 性差の大きな特徴は男性の方が歩幅が長いことである。自然歩行の観察では男性の方が歩行速度は大きく、これは男性の長い歩幅からもたらされる結果であった。さらに、実験歩行からは同じ速度であっても毎分90mを超える速度では男性の方が歩幅は長くなるという結論が得られた。

4) 自然歩行速度の地域差および民族差が顕著に現れていることは興味深い。地域差では大阪、東京といった大都會での歩行速度が特に速い。

5) 日本人と米国人の自然歩行速度は日本人が速く、その時の歩幅は同じで、従って日本人は多い歩調で歩いているのである。同じ速度で歩行させた場合の比較をするためにトレッドミル歩行を実施すると、日本人は欧米人より速度にかかわらず約5cm短い歩幅となり、その分歩調が大きくなる。これらの結果は日本人のいわゆるせかせか歩行を示している。

6) 歩行中の肩関節の伸展角度は速度が速くなるほど大きくなり、また身長の高い者ほどその角度は大きい。また、速度が速くなると、老人の肩関節および肘関節とも小さくなる傾向がある。

7) エネルギー消費量については、体重、運搬荷重、速度、傾斜および歩行面を考慮して作られた推定式 (PANDOLF *et al.*, 1977) を紹介した。

8) 歩行時のエネルギー消費量に影響する風の抵抗も無視できない。風によるエネルギー消費量の増加は風速の二乗に比例し、風速5m/秒では約10%、風速8m/秒では約35%増加す

る。

文 献

- 阿久津邦男, 1975: 歩行の科学. 不昧堂出版, 東京, pp. 56-57.
- BALLESTEROS, M. L. F., F. BUCHTHAL and P. ROSENFALCK, 1965: The pattern of muscular activity during the arm swing of natural walking. *Acta Physiol. Scand.*, 63: 296-310.
- BOOYENS, J. and W. R. KEATINGE, 1957: The expenditure of energy by men and women walking. *J. Physiol.*, 138: 165-171.
- CROWNSHIELD, R. D., R. A. BRAND and R. C. JOHNSTON, 1978: The effects of walking velocity and age on hip kinematics and kinetics. *Clin. Orthop.*, 132: 140-144.
- DEAN, G. A., 1965: An analysis of the energy expenditure in level and grade walking. *Ergonomics*, 8: 31-47.
- ELFTMAN, H., 1939: The functions of the arms in walking. *Hum. Biol.*, 11: 529-536.
- 遠藤萬里, 1980: 戸外における歩行者の歩行サイクル速度. *人類学雑誌*, 88: 187.
- 遠藤萬里・足立和隆, 1983: 路上歩行者の歩行周期数と速度. *人類学雑誌*, 91: 256.
- FINLEY, F. R. and K. A. CODY, 1970: Locomotive characteristics of urban pedestrians. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 51: 423-426.
- FINLEY, F. R., K. A. CODY and R. V. FINIZIE, 1969: Locomotion patterns in elderly women. *Arch. Phys. Med.*, 50: 140-146.
- GIVONI, B. and R. F. GOLDMAN, 1971: Predicting metabolic energy cost. *J. Appl. Physiol.*, 30: 429-433.
- GRIEVE, D. W. and R. J. GEAR, 1966: The relationships between length of stride, step frequency, time of swing and speed of walking for children and adults. *Ergonomics*, 9: 379-399.
- 石川知福, 1925: 自然歩行に関する統計的研究. *労働科学研究*, 2: 571-583.
- 神 忠久, 1975: 煙の中での歩行速度について. *火災*, 97: 102-106.
- 木村 賛・神谷正明, 1982: 速度変化に伴いヒトの歩行がどう変わるか. *バイオメカニズム学会 (編): バイオメカニズム 6*, 東京大学出版会, 東京, pp. 69-79.

- 今野道勝・吉永 浩・安永 誠・大坂哲郎・千綿俊機・増田卓二, 1980: 日本人とネパール人の歩行に関する健康科学的比較研究. 健康科学, 2: 33-39.
- MERRIFIELD, H. H., 1971: Female gait patterns in shoes with different heel heights. *Ergonomics*, 14: 411-417.
- MILNER, M. and QUANBURY, A. O., 1970: Facets of control in human walking, *Nature*, 227: 734-735.
- MURRAY, M. P., 1967: Gait as a total pattern of movement. *Am. J. Phy. Med.*, 46: 290-333.
- MURRAY, M. P., A. B. DROUGHT and R. C. KORY, 1964: Walking patterns of normal men. *J. Bone Jt. Surg.*, 46-A: 335-360.
- MURRAY, M. P., R. C. KORY and B. H. CLARKSON, 1969: Walking patterns in healthy old men. *J. Geront.*, 24: 167-178.
- MURRAY, M. P., R. C. KORY, B. H. CLARKSON and S. B. SEPIC, 1966: Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am J. Phys. Med.*, 45: 8-24.
- MURRAY, M. P., R. C. KORY and S. B. SEPIC, 1970: Walking patterns of normal women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 51: 637-650.
- MURRAY, M. P., S. B. SEPIC and E. J. BARNARD, 1967: Patterns of sagittal rotation of the upper limbs in walking. *J. Am. Phys. Ther. Assn.*, 47: 272-284.
- MURRAY, M. P., G. B. SPURR, S. B. SEPIC, G. M. GARDNER and L. A. MOLLINGER, 1985: Treadmill vs. floor walking: kinematics, electromyogram, and heart rate. *J. Appl. Physiol.*, 59: 87-91.
- 大谷武一, 1933: 自然歩の研究. 体育研究, 1: 713-724.
- PANDOLF, K. B., B. GIVONI and R. F. GOLDMAN, 1977: Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43: 577-581.
- PEARCE, M. E., D. A. CUNNINGHAM, A. P. DONNER, P. A. RECHNITZER, G. M. FULLERTON and J. H. HOWARD, 1983: Energy cost of treadmill and floor walking at self-selected paces. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52: 115-119.
- PUGH, L. G. C. E., 1971: The influence of wind resistance in running and walking and the mechanical efficiency of work against horizontal or vertical forces. *J. Physiol.*, 213: 255-276.
- ROSENROT, J. C. W. and J. CHARTERIS, 1980: The relationship between velocity, stride time, support time and swing time during normal walking. *J. Human Movement Stud.*, 6: 323-335.
- SATO, H. and K. ISHIZU, 1990: Gait patterns of Japanese pedestrians. *J. Human Ergol.*, 19: 13-22.
- SPIELBERG, P. I., 1940: Walking patterns of old people: Cyclographic analysis. In: N. A. BERNSTEIN (ed.) *Investigations on the biodynamics of walking, running and jumping. Part 2 Chap. 15*, pp. 72-76, Central Scientific Institute of Physical Culture, Moscow.
- SUHAIL, A. and A. HALEEM, 1985: Left turnings save time. *Ergonomics*, 28: 1483-1487.
- 田代義徳, 1907: 我邦婦人ノ歩容(所謂内足論). 東京医学会雑誌, 21: 323-331.
- 辻村 明・長山泰久, 1979: 統計から見たセカセカ日本人. 文芸春秋, 57: 138-146.
- Van der WALT, W. H. and C. H. WYNDHAM, 1973: An equation for prediction of energy expenditure of walking and running. *J. Appl. Physiol.*, 34: 559-563.
- WORKMAN, J. M. and B. W. ARMSTRONG, 1963: Oxygen cost of treadmill walking. *J. Appl. Physiol.*, 18: 798-803.
- 渡辺仁史, 1982: 空間と人間行動. 乾 正雄・長田泰公・渡辺仁史・穂山貞登(編): 新建築学大系 11. 環境心理. 彰国社, 東京, p. 167.
- YAMADA, T., K. MAIE and S. KONDO, 1988: The characteristics of walking in old men analysed from the ground reaction force. *J. Anthrop. Soc. Nippon*, 96: 7-15.
- 山崎和彦, 1988: 歩行時のエネルギーコストに及ぼす風の抗力の効果. 米子医誌, 39: 325-334.
- 山崎昌廣, 1988: 日本人の歩行. 佐藤方彦(編): 日本人の生理. 朝倉書店, 東京, pp. 138-155.
- YAMASAKI, M., T. SASAKI, S. TSUZUKI and M. TORII, 1984: Stereotyped pattern of lower limb movement during level and grade walking on treadmill. *Ann. Physiol. Anthrop.*, 3: 291-296.
- YAMASAKI, M., M. TORII and T. SASAKI, 1990: Sex difference in the pattern of lower limb movement during treadmill walking. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (in press).
- 山崎昌廣・鳥井正史・山元総勝・佐々木隆, 1988: 歩行時エネルギー消費量推定ノモグラムの作成. 生理人類誌, 7: 207-213.

ZARRUGH, M. Y., F. N. TODD, and H. J. RALSTON, walking. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 33: 293-306.
1974: Optimization of energy expenditure during level

Summary

Human Walking: With Reference to Step Length, Cadence, Speed and Energy Expenditure

Masahiro YAMASAKI¹⁾ and Haruhiko SATO²⁾

1) *Department of Health and Physical Education, Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

2) *Department of Ergonomics, Kyushu Institute of Design*

In this review, the characteristics of human walking were discussed with special reference to step length, cadence, speed and energy expenditure. For this purpose, the natural walking was distinguished from experimental walking including floor and treadmill walking in a laboratory. The conclusions obtained from this review were as follows.

1) Step lengths in natural and floor walking tend to be greater compared with those obtained during treadmill walking.

2) The older people walk with shorter step length, slower cadence, longer walking cycle and slower speed as compared with the younger people.

3) The sex differences which were consistently found both in natural and experimental walking were higher speed walking with longer step length in men than in women.

4) There exist the regional difference in walking speed and the ethnical difference in gait pattern. In Japan, the people in Osaka and Tokyo

seem to walk faster than those in other cities investigated.

5) In natural walking, Japanese walk with shorter step length, higher cadence and faster speed than American. In treadmill walking, the step length of Japanese was shorter than Caucasian by about 5cm at any speed.

6) The degree of shoulder extension increases with the walking speed. At the speeds of 120 and 130 m/min, the tall subjects showed the least excursion of shoulder extension.

7) For the prediction of the metabolic costs during experimental walking, an equation was presented from the literature (PANDOLF *et al.*, 1977) which took account of body weight, external load carried, walking speed, nature of terrain and grade.

8) It is estimated that the energy cost of overcoming wind resistance in walking is about 10 % of total energy cost at the wind velocity of 5 m/sec and 35% at 8 m/sec.

山崎 昌 廣

Masahiro YAMASAKI

広島大学総合科学部保健体育講座
〒730 広島市中区東千田町 1-1-89

Department of Health and Physical Education,
Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University
1-1-89 Higashisenda, Naka-ku, Hiroshima 730, Japan