

日本人とマリ人の歩行パラメータの比較

足立和隆*・遠藤萬里**・川田順造***

Comparison of Walking Parameters between Japanese and Malians

ADACHI Kazutaka*, ENDO Banri** and KAWADA Junzo***

Abstract

Normal walking needs good cooperation of healthy musculoskeletal and nervous systems. Their malfunction can be easily recognized by an analysis of walking. For this purpose we should know a normal walking condition. Walking parameters, i. e. walking speed, step length and cadence, are used basically to indicate a walking condition. We measured walking parameters of 1000 Japanese (500 men and 500 women) at different time period in Tokyo, as well as 266 Malians (107 men and 159 women) in the morning at Bougouni in Mali Republic. The average walking speeds of Japanese were 1.418 m/s (men) and 1.310 m/s (women). Those of Malians were 1.317 m/s (men) and 1.181 m/s (women). Japanese walked faster than Malians, but step lengths of Japanese were shorter than those of Malians. It means that cadences of Japanese were larger than those of Malians. There was sexual difference in walking parameters for Japanese and Malians except Malians' cadence. Cadence might be decided by social environmental conditions. There were few such conditions in Mali. So cadences of men and women were almost the same there. Walk ratio (step length divided by cadence) were different between Japanese and Malians. But step length and cadence shall be influenced mainly by stature. We standardized walk ratio with stature. Their values were almost the same among Japanese and Malians. This standardized walk ratio may be universal in human being.

Key words: Walking parameters, Japanese, Malians, Walk ratio

1. はじめに

ヒトの歩行は全身運動であり、運動器としての筋骨格系および筋に指令を送る遠心性の神経機構だけでなく、視力、聴力といった特殊感覚や体性感覚といった求心性の神経機構も動員されて行われる複雑で巧妙な運動である。そのため、歩行を観察することによって、その対象の運動器や運動に関する神経機構の健全性あるいは疾患の程度を評価することが可能である。その一方で、歩行動作を詳細に観察すると、歩行動作は人ごとに異なり、その原因として、形態、特に身長や下肢の長さといった体型の違いが

挙げられるが、文化的な影響によっても差が生じることがある。そのため、人類学において民族の特徴として研究対象になることもある^{1,4,5,13}。また、成長、加齢によっても変化する^{8,17}。さらに、日常歩行に関する基本的なデータ^{12,13,14}、たとえば歩行速度などは、人間工学的な分野において、歩行者用青信号の点灯時間の決定や駅における人の流れのコントロールなどに利用できる。

上記のように歩行における健全性の検討や民族差を調べたり、あるいは歩行に関するデータを人間工学において活用するといった目的のためには、自由

* 筑波大学体育系
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

** 東京大学名誉教授
Professor Emeritus, The University of Tokyo

*** 神奈川大学・日本常民文化研究所
Institute for the Study of Japanese Folk Culture, Kanagawa University

歩行を行っている健常な人々を対象として、その歩行動作を計測し、その計測値を基準値として知っておく必要がある。しかし、歩行実験は一般的に室内において実験者の管理のもとで行われることが多く⁷⁾、これが被験者に精神的な面で影響を及ぼし、真の「自由歩行」とは異なった歩行様式となる可能性がある。また、調査対象人数もせいぜい数十人程度で、十分といえる事例はない。

歩行様式を表す基本的な指標として、歩行パラメータと呼ばれるものがある。これは、歩行速度(距離/時間)、歩幅(距離/歩数)、歩調(歩数/時間)のことであり、歩行速度は歩幅と歩調の積で表される。したがって、これらの3つのパラメータのうち2つが計測されれば、残りのひとつは計算によって求めることができる。歩幅は、ストライド長、あるいはステップ長とも呼ばれる。歩調は、ケイデンス(ステップ数/分)と呼ばれることもある。ストライドとは、片側の足の踵接地から次の同側の足の踵接地までのことをいい、ステップとは、片側の足の踵接地から、次の反対側の足の踵接地までのことをいう。各歩行パラメータの単位としては、本研究では歩行速度に m/s、歩幅(ステップ長)に m/step、歩調に steps/s を使用することにする。

歩行様式が環境と体格によって異なることは、容易に推測できる。環境の例として、たとえば気温の違いをあげると、温暖地域では寒冷地域に比べ、歩行速度が遅くなる可能性があり、また小柄なヒトは大柄なヒトに比較して、「セカセカ」と歩く印象を受ける。本研究では、これらの歩行様式の特徴の差を、気候や社会環境の条件が異なり、体格の異なる日本人とマリ人の歩行パラメータの比較を行うことによって調べる。すなわち、屋外を自然に歩行している日本人(東京人)を対象として、社会環境による歩行速度の違いを考慮し、異なる時間帯において東京の数カ所における人々の歩行パラメータを計測

し、それらの値を示すとともに、西アフリカのマリ共和国において屋外を歩行している人々も対象として計測を行い、両者の歩行パラメータの差異とその原因について論ずることを目的とする。

マリ共和国は、西アフリカに位置する内陸国家で、北部半分がサハラ砂漠、南部半分がステップあるいはサバンナ地域である。国民の約半数がマンデ系(Mande)の人々で、そのうちバンバラ族が多数を占める。本研究の調査地であるブグニ(Bougouni)は、マリ首都バマコから南南東に約170kmの位置にあり(図1)、アフリカの大河であるニジェール川近くの町である。人口は調査時期(1991年)において約5万人で、バンバラ族が大多数を占める。ブグニはサバンナ地域に含まれ、調査時期である2月は乾期にあたり、平均最高気温は、36℃、平均最低気温は18℃、降水量は4.1mmでかなり乾燥している。

2. 被験者および方法

2.1 被験者

2.1.1 日本人

屋外を歩行している人々の歩行様式は、その人が置かれている環境によって異なる。したがって、調査は1982年の気候の良い5月と6月の晴れあるいは曇りの日(気温20℃前後)に行い、時間帯およ

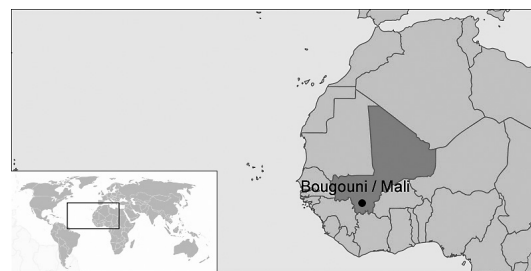


図1 マリ共和国ブグニ(Bougouni/Mali)の位置

表1 日本人を対象とした歩行パラメータ計測地と人数(東京)。調査時期は、1987年5月と6月である。

状況	場所	日時	男性	女性
速い歩行速度 (ラッシュ時)	八重洲	平日, 8:00 - 10:00	50	50
	目白	平日, 6:30 - 9:00	50	50
通常の歩行速度 (平日の日中)	小滝橋	平日, 10:00 - 16:00	100	100
	巢鴨	平日, 10:00 - 16:00	100	100
	茗荷谷	平日, 10:00 - 16:00	100	100
遅い歩行速度 (休日の日中)	代々木公園	休日, 12:00 - 15:00	50	50
	上野公園	休日, 12:00 - 15:00	50	50

び場所に関しては、平日の日中の生活圏における歩行を東京の小滝橋、巣鴨、茗荷谷、歩行速度が速いラッシュ時の歩行を八重洲と目白、リラックスして歩行速度の遅い休日の歩行を上野公園と代々木公園において計測した。各地における時間帯と人数を表1に示す。対象は単独で歩行している者とし、年齢層に関しては、高齢者を含む成人とした。ただし杖を用いたり、歩行が明らかに異常であった者は対象としなかった。

2.1.2 マリ人

マリでは、マリの首都バマコから南南東約170kmに位置するブグニ (Bougouni) の交通量が比較的ある (1時間あたり100名程度) 病院前の大通りを歩行する人々を対象とした (図2a)。ただし、ここでも単独で歩行している者を対象とした。マリ国内には数民族が住んでいるが、本研究における対象はバンバラ族である。表2に計測 (撮影) 時間帯と人数を示す。

本研究における調査時期は、東京が1982年、マリが1991年であり、いずれの時点においても、本研究に対する倫理委員会の承認は必要なく、また対象から歩行データを研究に利用しても良いという承諾を得る必要もなかった。しかし、本研究はヒトを対象としているため、「ヘルシンキ宣言」を十分考慮して実施した。

表2 マリ人を対象とした歩行パラメータ計測地と人数 (Bougouni, Mali)。調査時期は、1991年2月である。

場所	日時	男性	女性
病院前通り	平日, 9:00-12:00	107	159



a

2.2 方法

2.2.1 日本人

計測地において、歩道上の20m離れた位置にチョークで2本のラインを引き、一人の測定者はその間を通過した時間を計測し、もう一人の計測者は、その間における20歩 (steps) に要した時間をいずれもストップウォッチを使用して計測した。前者からは歩行速度、後者からは歩調を計算によって求めた。さらに計測を行った歩行速度を歩調で除して歩幅を求めた。

2.2.2 マリ人

歩行パラメータ (歩行速度とストライド時間) は、撮影したビデオ画像から求めた。病院の敷地内に、病院前通りの方に向けてビデオカメラ (Panasonic AG-400) を設置し (図2b)、病院前通りを歩く対象を、対象に気づかれないように横方向から撮影した。歩行撮影に先立ち、キャリブレーション用画像の撮影を行った。これにはビデオの撮影画像の解像度に耐えられるように目盛りが大きく表示された長さ3m、幅5cmの巻き尺を使用した。画面の横方向のキャリブレーション用として、この巻き尺を歩行進行方向と平行 (カメラの光軸に垂直) に、カメラに近い位置 (道路の手前側) から道路の中央まで4ヶ所において地面上に置き、それらを撮影した。また、対象の身長を計測するために、画面の縦方向のキャリブレーション用として、巻き尺を上記の4ヶ所それぞれの先端位置において垂直に立て (計8ヶ所)、それらも撮影した。

ビデオ撮影画像をコマ送りすることによって時間的な計測を行うが、このコマ数のカウント作業を軽減するために、歩行を撮影したビデオ画像に4桁のフィールド番号 (1秒あたり60フィールド) をスーパーインポーズしたビデオテープを製作した。この



b

図2 ブグニの撮影場所。a: 撮影した大通り。道路反対側の塀の向こうから手前向きにビデオカメラで撮影した。b: 病院の敷地内から塀の穴を利用して道路を通行する人々を撮影した。

ビデオテープ画像を A/D 変換してパーソナルコンピュータに取り込み、フィールドをコマ送り再生することによって、時間的な要素の計測を行った（1コマ = 1/60 秒）。

ビデオ画像を再生するモニター画面に透明な OHP シートを貼り付け、キャリブレーション用巻き尺が写った再生画像を静止状態にして、4ヶ所に置かれた巻き尺画像の長さをもとに、水平方向に 2.4m の間隔となる横線および身長を計測するための基準となる高さ 1.6m の縦線を、その OHP シート上にフェルトペンで書き込んだ図を作製した（図 3）。この図の基準線を利用し、大通りを歩行する対象の歩行速度および身長を計測を行った。すなわち、歩行速度は、この 2.4m 離れた垂線間を頭部が通過するコマ数に 1/60 秒を乗じて求めた通過時間で 2.4m を除すことによって求め、身長は頭頂点が判別できる対象について、OHP シートに描いた 1.6m

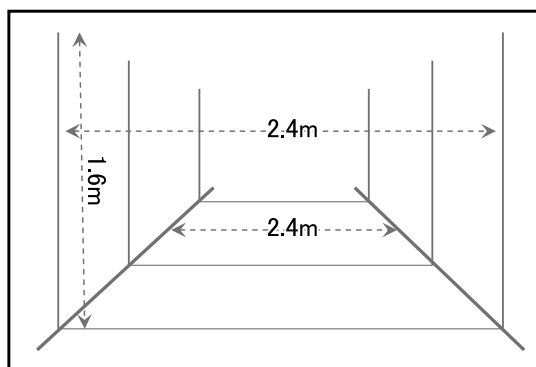


図 3 ビデオ再生画面に貼り付けた OHP シートに描かれた基準線。画面の手前あるいは遠方を左右に通過する対象について、これらの縦線間を通過する時間をビデオのコマ送りによって計測した。また縦線の 1.6m の長さは、対象の身長を求める際に利用した。

の縦線をもとに、立脚期中期における静止画像の身長を換算して求めた（男性 56 名、女性 90 名）。一方、ストライド時間（1 歩行周期）は、片側の足の踵接地から、同側の足の次の踵接地までのコマ数に 1/60 秒を乗じて求めた。歩調（steps/s）は、ストライド時間の逆数を 2 倍して求めた。これら歩行速度と歩調から、歩幅（m/step）を求めた。

3. 結果

3.1 日本人における歩行パラメータ

日本人における歩行パラメータに関して、男女別の全体、日本人全体の平均および標準偏差については表 3 に、また、速い歩行を対象とした場所、通常の歩行速度を対象とした場所、遅い歩行速度を対象とした場所に分けた場合の平均値および標準偏差を表 4 に示す。表 3 において、日本人男性全体と日本人女性全体における歩行速度、歩幅、歩調を比較すると、歩行速度は男性の方が有意に速く、歩幅に関しては男性の方が有意に大きく、さらに歩調に関しては女性の方が有意に大きい、すなわち単位時間あ

表 3 日本人の男性、女性および全体における歩行パラメータ平均。カッコ内の数字は、標準偏差。歩行速度、歩幅、歩調のいずれにおいても男女間に有意差がみられた（ $p < 0.05$ ）。

	歩行速度 (m/s)	歩幅 (m/step)	歩調 (steps/s)
日本人男性	1.418 (0.273)	0.727 (0.081)	1.996 (0.210)
日本人女性	1.310 (0.214)	0.687 (0.062)	2.047 (0.203)
日本人全体	1.364 (0.251)	0.682 (0.085)	1.992 (0.214)

表 4 日本人の男性、女性の時間帯別歩行パラメータの平均。カッコ内の数字は、標準偏差。

時間帯	歩行速度 (m/s)	歩幅 (m/step)	歩調 (steps/s)
ラッシュ (n=100)	1.695 (0.157)	0.799 (0.046)	2.119 (0.130)
日本人男性 日中 (n=300)	1.429 (0.210)	0.727 (0.071)	1.959 (0.156)
日本人男性 休日 (n=100)	1.110 (0.212)	0.654 (0.068)	1.687 (0.187)
日本人女性 ラッシュ (n=100)	1.529 (0.114)	0.686 (0.040)	2.228 (0.121)
日本人女性 日中 (n=300)	1.314 (0.163)	0.634 (0.058)	2.070 (0.147)
日本人女性 休日 (n=100)	1.077 (0.187)	0.595 (0.056)	1.799 (0.176)

たりの歩数が多いという結果となった（いずれも $p < 0.05$ ）。また日本人全体の平均歩行速度は、1.364m/s であった。

また、歩行速度を x 軸に、歩幅あるいは歩調を y 軸としたグラフを男女体に関して図 4a と図 4b に示した。x 軸に歩幅、y 軸を歩調としたグラフを男女全体に関して図 4c に示した。グラフ中には、それら 2 変数の相関係数 (R) および回帰直線とその式を男女別に示した。

図 4a の、歩行速度を x、歩幅を y としたグラフ

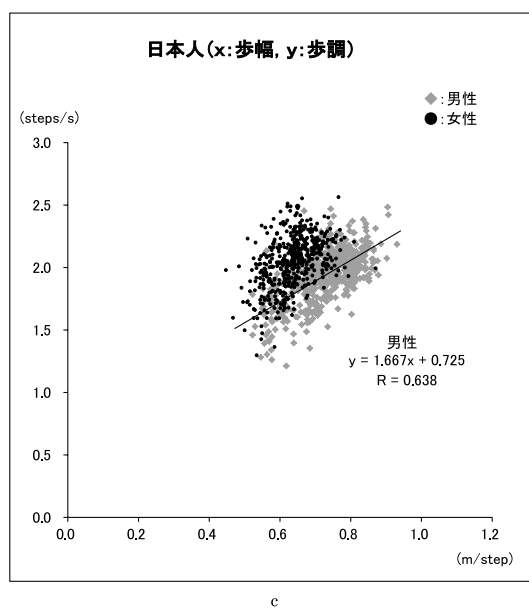
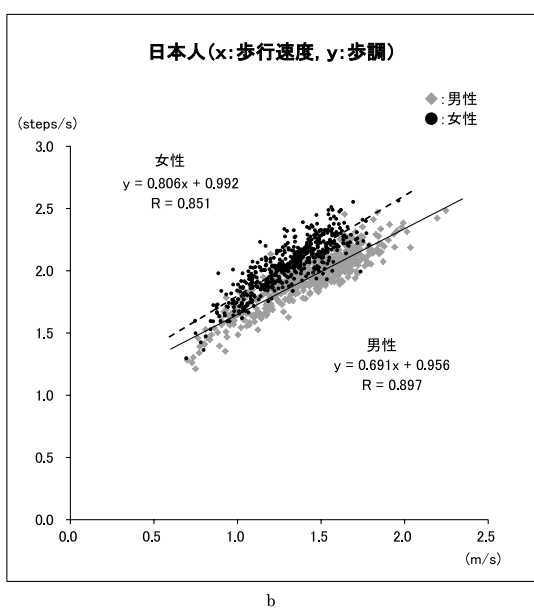
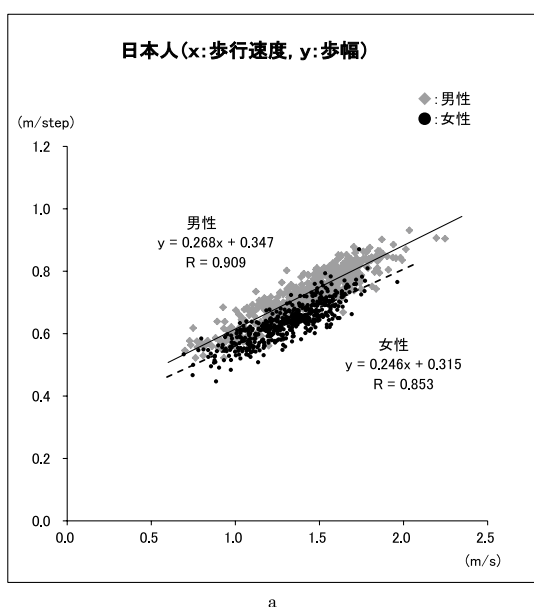


図 4 日本人（男性：500 名，女性：500 名）において歩行速度、歩幅、歩調の二者を組み合わせさせたグラフ。二者間の回帰直線とその式および相関係数 (R) を男女別に示した。

a : x 軸は歩行速度 (m/s)、y 軸は歩幅 (m/step)

b : x 軸は歩行速度 (m/s)、y 軸は歩調 (steps/s)

c : x 軸は歩幅 (m/step)、y 軸は歩調 (steps/s)

をみると、男性のプロットの集合が女性のそれよりも上方に位置し、また速い歩行速度側に延びている。すなわち同じ歩行速度において、男性の歩幅の方が女性の歩幅よりも一般的に大きいことを示している。また、男性、女性それぞれにおいて、歩行速度と歩幅には高い相関関係がみられた ($p < 0.01$)。本調査は同一の対象に対して歩行速度と歩幅の関係を調べたものでなく、異なる対象に関する調査ではあるが、歩行速度の増加に伴い、一般的に歩幅が増加するということが確かめられた。さらに、男女それぞれの回帰直線の傾きに大きな差はなく、男女ともに歩行速度と歩幅の増加比率が、ほぼ等しいということがわかる。

図 4b の、歩行速度を x、歩調を y としたグラフをみると、女性のプロットの集合の方が男性の集合よりも上方にある。すなわち同じ歩行速度において、女性の歩調の方が男性の歩調よりも一般的に大きいことを示している。歩行速度と歩調との相関関係は、男女それぞれにおいて高く、歩行速度の増加に伴い、歩調も大きくなっている。ただし、歩調の増加率は回帰直線をみると、女性の方が大きい。歩行速度の増加にともなう歩調の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.691、女性 0.806）を歩幅の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.268、女性 0.246）と比較すると、歩調の増加率の方が大きくなっている。

図 4c の、x 軸に歩幅、y 軸を歩調としたグラフをみると、男性でやや高い相関関係がみられたが (p

< 0.05)、女性では高い相関関係はみられない。男性、女性ともにプロットの集合はかなりまとまっており、歩幅と歩調の関係が、比較的狭い範囲内におさまることがわかる。

3.2 マリ人における歩行パラメータ

マリ人(男性 107 名、女性 159 名)の歩行パラメータの平均および標準偏差を表 5 に示す。表 5 において、マリ人における歩行速度、歩幅、歩調を比較すると、歩行速度は男性の方が有意に速く、歩幅に関

しても男性の方が有意に大きくなったのは日本人の場合と同様であったが、歩調に関しては、男女間に有意差がみられなかった(いずれも $p < 0.05$)。

また、歩行速度を x 軸に、歩幅あるいは歩調を y 軸としたグラフを男女全体に関して図 5a と図 5b に示した。x 軸に歩幅、y 軸を歩調としたグラフを男女全体に関して図 5c に示した。ここでもグラフ中にそれら 2 変数の相関係数 (R) および回帰直線とその式を男女別に示した。

表 5 マリ人の男性、女性の歩行パラメータの平均。カッコ内の数字は、標準偏差。歩行速度、歩幅には男女間に有意差がみられたが、歩調に関してはみられなかった ($p < 0.05$)。

	歩行速度 (m/s)	歩幅 (m/step)	歩調 (steps/s)
マリ人男性(n=107)	1.317 (0.198)	0.758 (0.076)	1.734 (0.156)
マリ人女性(n=159)	1.181 (0.145)	0.682 (0.065)	1.731 (0.123)

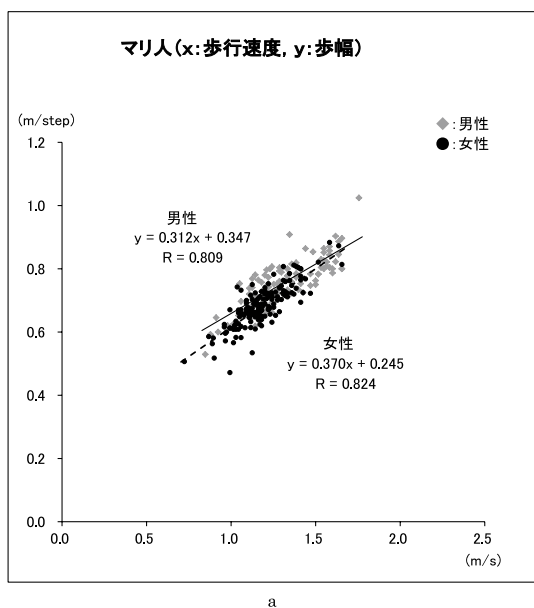


図 5a の、歩行速度を x、歩幅を y としたグラフをみると、男性のプロットの集合が女性のそれよりも上方に位置し、また速い歩行速度側に延びているということは日本人の場合と同様である。ただし、マリでは日本における調査の「日中」における環境での調査であったために、女性では 1.5m/s を越える速い歩行速度側と 1.0m/s より遅い歩行速度側での測定例が少ない。マリ人の場合も、同じ歩行速度

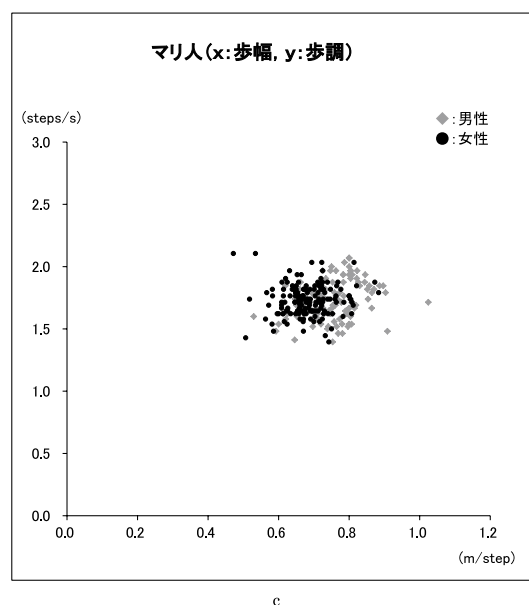
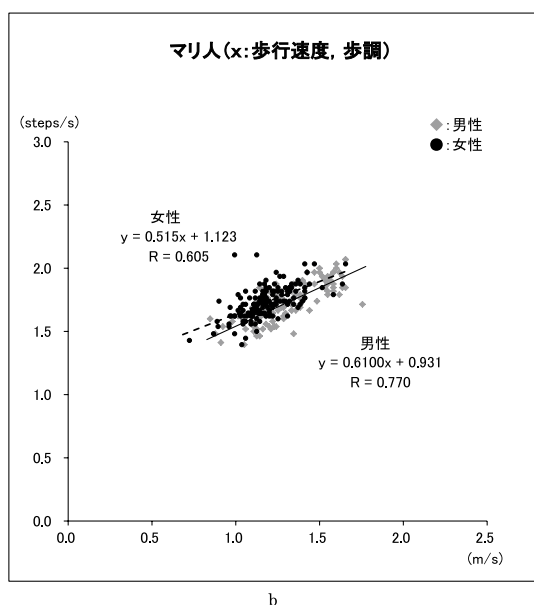


図 5 マリ人(男性: 107 名、女性: 159 名)において歩行速度、歩幅、歩調の二者を組み合わせさせたグラフ。二者間の回帰直線とその式および相関係数 (R) を男女別に示した。

a: x 軸は歩行速度 (m/s)、y 軸は歩幅 (m/step)

b: x 軸は歩行速度 (m/s)、y 軸は歩調 (steps/s)

c: x 軸は歩幅 (m/step)、y 軸は歩調 (steps/s)

において、男性の歩幅の方が女性の歩幅よりも一般的に大きいということがわかる。また、男性、女性それぞれにおいて、歩行速度と歩幅には高い相関関係がみられた ($p < 0.01$)。さらに、男女それぞれの回帰直線の傾きに大きな差はなかったが、男女とも、日本人の場合より大きかった。

図 5b の、歩行速度を x 、歩調を y としたグラフをみると、日本人の場合と同様に女性のプロットの集合の方が男性の集合よりも上方にある。すなわち同じ歩行速度において、女性の歩調の方が男性の歩調よりも一般的に大きいことを示している。歩行速度と歩調との相関関係は、男女とも高く、歩行速度の増加に伴い、歩調も大きくなっている。ただし、歩調の増加率は回帰直線をみると、日本人の場合とは異なり、男性の方が大きい。歩行速度の増加にともなう歩調の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.610、女性 0.515）を歩幅の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.312、女性 0.370）と比較すると、ここでも歩調の増加率の方が大きくなっている。

図 5c の、 x 軸に歩幅、 y 軸を歩調としたグラフをみると、男性、女性のいずれにおいても有意な相関関係はみられなかった。ここでも、男性、女性ともにプロットの集合はかなりまとまっており、歩幅と歩調の関係が、比較的狭い範囲におさまることがわかる。

3.3 日本人とマリ人の歩行パラメータの差

男女別に比較した日本人とマリ人の歩行パラメータの差を表 6 に示す。日本人は、ラッシュ、日中、休日に分けたものと全体に関してマリ人全体の値と比較した。日本人のそれぞれの時間帯そして全体において、歩行速度、歩幅、歩調のすべての項目に関して、マリ人と有意な差がみられた ($p < 0.05$)。大小関係は不等号で示した。日本人全体と日本人の

日中をマリ人全体と比較した結果では、歩行速度と歩調に関しては日本人の方が有意に大きな値を示し、歩幅に関してはマリ人の方が大きな値を示した（いずれも $p < 0.05$ ）。

3.4 平均値の順位づけ

マリ人の歩行様式が、日本人のそれぞれの状況における歩行様式のどの位置に来るかということを見るために、各場所における計測値の平均の順位づけを行った。すなわち、東京における速い歩行の計測を目的とした場所、通常の歩行速度の計測を目的とした場所、遅い歩行速度の計測を目的とした場所において計測した歩行速度、歩幅、歩調の平均値、また、3ヶ所全体すなわち日本人全体における平均値、そしてマリにおける同計測値の平均値に関して、男女別に順位づけを行い図 6a, b, c に示した。

図 6a では、歩行速度が速い順に示されているが、日本人男性のラッシュ時間帯における歩行速度の平均値が最も速く、日本人女性の休日における歩行速度の平均値が最も遅い。マリ人男性の平均身長は日本人男性の平均身長よりも高く、またマリ人女性の平均身長は日本人女性の平均身長よりも高い²⁾ が、マリ人男性の歩行速度の平均は、日本人男性全体の歩行速度の平均よりも遅く、マリ人女性の歩行速度の平均もまた、日本人女性全体の歩行速度の平均よりも遅い。さらに、マリ人の歩行速度の平均は、男女ともに日本人全体の歩行速度の平均よりも遅い。

一方、図 6b における歩幅の大きい順に並べたグラフをみると、マリ人男性の歩幅の平均が、最大である日本人男性のラッシュ時間帯の歩幅の平均に次いで大きくなっており、日本人男性の日中における歩幅の平均および日本人男性全体の平均よりも大きくなっている。マリ人女性の歩幅の平均は、日本人全体の歩幅の平均と同値で、日本人女性のラッシュ

表 6 男女別に比較した日本人とマリ人の歩行パラメータの差。不等号で大小関係を示す。日本人に関しては、ラッシュ、日中、休日に分け、マリ人全体の値と比較し、さらに日本人全体とマリ人全体を比較した。すべての項目において有意差がみられた。

男性	歩行速度	歩幅	歩調	女性	歩行速度	歩幅	歩調
ラッシュ	J>M	J>M	J>M	ラッシュ	J>M	J>M	J>M
日中	J>M	J<M	J>M	日中	J>M	J<M	J>M
休日	J<M	J<M	J<M	休日	J<M	J<M	J>M
全体	J>M	J<M	J>M	全体	J>M	J<M	J>M

M:マリ人, J:日本人 ($p < 0.05$)。日本人では、ラッシュ、日中、休日に区分したものと全体とで比較した。マリ人では全体の結果を使用した。

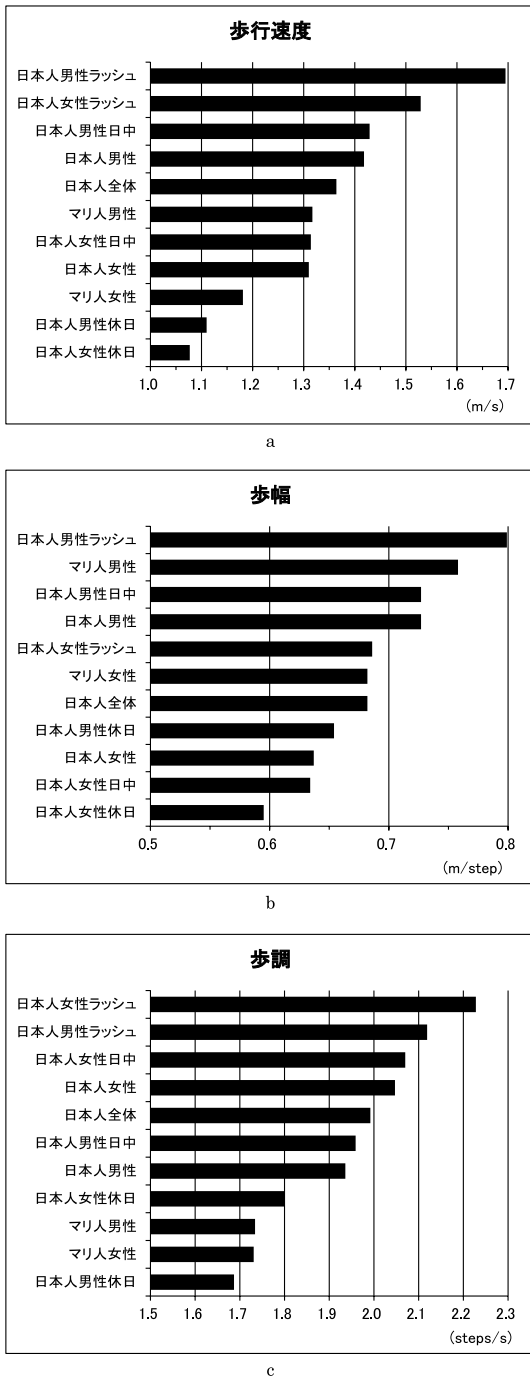


図6 日本人男女の計測場所別および男女別の平均、マリ人男女に関して、歩行速度は速い順、歩幅は大きい順、歩調は大きい順に並べたグラフ。

時における歩幅の平均に近い。

図6cの歩調を順位で示したグラフでは、日本人女性のラッシュ時間帯における歩調の平均が最も大きく、それに次いで日本人男性のラッシュ時における歩調の平均が大きくなっているが、マリ人男性と女性の歩調の平均値は、最も小さい歩調を示す日本人男性の休日の歩調の平均に次いで、小さくなっている。

4. 考察

4.1 日本人における歩行パラメータ

表3に示すとおり、今回計測した日本人（東京人）全体の平均歩行速度は、1.364m/sであった。これを分あたりで換算すると、81.84m/minとなる。不動産広告における「駅から〇×分」の表記は、駅から物件までの距離について歩行速度を80m/minとして時間に換算している。これは「不動産の表示に関する公正競争規約施行規則⁶⁾」で規定されている。本研究の計測結果から、この表記の妥当性が実証された。また、Zarrughら^{15,16)}やSekiya¹⁰⁾らによると、歩行速度が約80m/minのときに一定距離を移動する場合のエネルギー消費が最低になるということであるので、ヒトは基本的にエネルギー消費に関しては、最も効率の良い歩行速度で歩行していることになる。

図4aの、歩行速度をx、歩幅をyとしたグラフをみると、男性のプロットの集合が女性のそれよりも上方に位置し、また速い歩行速度側に延びている。すなわち同じ歩行速度において、男性の歩幅の方が女性の歩幅よりも一般的に大きいことを示している。これは、体格（下肢長）の差によるものと考えられる。また、図4bの、歩行速度をx、歩調をyとしたグラフをみると、女性のプロットの集合の方が男性の集合よりも上方にある。すなわち同じ歩行速度において、女性の歩調の方が男性の歩調よりも一般的に大きいことを示している。これもやはり、女性の体格が男性よりも小さいことが原因と考えられる歩幅の短さを、歩調を増やすことによって補うためと考えられる。

図4bで示した歩行速度の増加にともなう歩調の増加率（回帰直線の傾き：男性0.691、女性0.806）を図4aに示した歩幅の増加率（回帰直線の傾き：男性0.268、女性0.246）と比較すると、個人間比較ではあるが、歩調の増加率の方が大きくなっている。これは、日本人が歩行速度を増加させる場合、一般的に歩幅の増加よりも歩調を増加させる手段を選ぶことを示している。

4.2 マリ人における歩行パラメータ

表5に示されているように、マリ人の場合も歩行速度と歩幅に関しては、日本人の場合と同じく男性の方が有意に大きな値を示したが、歩調に関しては、日本人の場合と異なり男女間で有意差はみられなかった。マリ人の場合、日本における状況と異なり、社会的に歩行速度が規定されるような状況に置かれることが少なく、自分のペースで歩調を決められるので、男女ともに生得的な歩行リズムをそのま

ま発揮できているのかもしれない。

図 5a をみると、男性のマリ人の場合も日本人の場合と同じく、歩行速度が同じ場合、男性の歩幅の方が女性の歩幅よりも一般的に大きいということがわかる。これもやはり、体格（下肢長）の差によるものと考えられる。すなわち同じ歩行速度において、女性の歩調の方が男性の歩調よりも一般的に大きいということを示している。これもやはり、女性の体格が男性よりも小さいということによる歩幅の短さを、歩調を増やすことによって補うためと考えられる。

図 5b における歩行速度の増加にともなう歩調の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.610、女性 0.515）を図 5a における歩幅の増加率（回帰直線の傾き：男性 0.312、女性 0.370）と比較すると、ここでも日本人の場合と同じく、歩調の増加率の方が大きくなっている。このように、歩行速度を増加させる場合、マリ人でも歩幅の増加よりも歩調を増加させる手段を選ぶということは、ヒトでは一般的に歩行速度の増加には歩調の増加を歩幅の増加よりも優先して行う方法が行われていると考えても良い根拠となる。

4.3 日本人とマリ人の歩行パラメータの差

表 6 における日本人全体とマリ人全体の歩行パラメータの差をみると、男女ともに歩行速度と歩調に関しては日本人の方がマリ人よりも有意に大きく、歩幅に関してはマリ人の方が有意に大きいということが示されている。基本的に、生体計測値の結果²⁾からも男女それぞれにおいて、日本人よりもマリ人の方が身長および下肢長が有意に大きいため、これが歩幅の差に反映されているといえる。歩幅が大きければ、歩行速度も速くなるはずである。しかし、歩行速度に関しては、日本人の方が有意に速い。これは、日本人とマリ人の歩幅の差の比率を上回るほど、日本人が歩調を大きくする（下肢を頻繁に動かす）ことによって、せかせか歩き、速い歩行速度を得ているということがわかる。

4.4 平均値の順位づけ

図 6a に示された歩行速度に関する順位付けをみると、マリ人男性の歩行速度は、日本人の男性と女性における日中の歩行速度の間にあり、日本人女性の日中の歩行速度とほとんど変わらず、マリ人女性の歩行速度は、日本人女性よりも遅いところに位置している。歩行速度に関しては、他人からの制約を受けない大自然の中、それも温暖な気候の中では、歩行速度も遅くなるのが当然であろう。

図 6b の歩幅に関する順位では、マリ人男性の歩幅が、最も大きい値を示した日本人男性のラッシュ時の歩幅の次点となった。また、マリ人女性の歩幅は、日本人女性のラッシュ時の歩幅とほぼ同じであった。おもしろいことに、日本人の男女全体の平均的な歩幅と、マリ人女性の歩幅がほとんど同じとなっている。

図 6c の歩調に関する順位では、やはり日本人女性のラッシュ時の歩調が最も大きく、次いで日本人男性のラッシュ時の歩調となっている。マリ人の歩調は、男女ともに日本人のほとんどの場合における歩調よりも小さくなっているが、唯一、日本人男性の休日における歩調と比べるとやや大きい値となっている。

4.5 歩行比 (Walk ratio)

歩行速度は、歩幅と歩調の積であるが、ひとつの歩行速度に対する歩幅と歩調の組み合わせは無数にある。しかし、自由歩行に関しては、歩幅と歩調の比率は一定であるという報告がある^{3,15,16)}。この比率を歩行比 (Walk ratio) といい、歩幅 (m/step) を歩調 (steps/min) で除したものと定義されている。したがって、単位は (m/steps/min) である。歩行比は、歩行における脚運動の大きさと速さ（頻度）の関係を示す示数であり、歩行パターンを表すひとつの指標である。歩行比の値が大きいほど、歩調に対して歩幅が大きいということであり、外見上、より“ゆったりとした”歩き方となる。日本人の全対象（男性 500 名、女性 500 名）に関して、またマリ人の全対象（男性 107 名、女性 159 名）に関して求めた歩行比を表 7 に示す。日本人の男女間、マリ人の男女間、男性の日本人とマリ人間、女性の日本人とマリ人間のすべての組み合わせにおいて有意差が認められ ($p < 0.05$)、日本人に対し、マリ人の方が大きな値となった。したがってマリ人の方が、外見上、ゆったりとした歩き方であるということがわかる。

表 7 日本人とマリ人における男女別歩行比 (Walk ratio)。カッコ内は標準偏差。男女間、人種間に有意差 ($p < 0.05$) が観察された。歩行比とは、歩幅 (m/step) を 1 分あたりのステップ数 (steps/min) で除した示数である。

歩行比 (m/steps/min)	男性		女性	
	n	0.0063 (0.00060)	n	0.0052 (0.00054)
日本人	n=500	0.0063 (0.00060)	n=500	0.0052 (0.00054)
マリ人	n=157	0.0073 (0.00088)	n=159	0.0066 (0.00075)

これらの結果を表8に示した先行研究と比較すると、日本人、マリ人ともに男性の方が女性よりも大きな値を示すという点に関してはDu Chatinier³⁾らのオランダ人を対象とした研究と同様であるが、その一方で、アメリカ人を対象としたZarrughら¹⁵⁾の研究では、男女間に大きな差がみられていない。数値に関しては、日本人では男女ともにDu Chatinier³⁾らの研究よりも低い値を示し、マリ人では男女ともに高い値を示した。日本人に関しては、男性ではMurrayら⁸⁾とZarrughらの研究で得られた結果と大差ないが、女性ではZarrughらの研究よりも低い値となった。マリ人では男女ともにMurrayらとZarrughらの結果とほとんど差がなかった。

表8 先行研究^{3,8,15)}で算出された歩行比 (Walk ratio)。

歩行比 [m/(steps/min)]	男性	女性
Du Chatinier ら ³⁾	0.0070	0.0057
Murray ら ⁸⁾	0.0062–0.0072	
Zarrugh ら ¹⁵⁾	0.0069–0.0072*	0.0061–0.0068**

*: 20~55 歳, **: 20~49 歳

表7では、日本人、マリ人ともに歩行比は男性の方が女性よりも有意に大きな値となり、日本人とマリ人間の比較では、男女それぞれ、マリ人の方が日本人よりも有意に大きな値となった。しかし、これらの差は、両者間の体格の差による形態学および力学的な影響が原因となっている可能性がある。体格が歩調に影響を及ぼす、すなわち身長が大きいほど、また体重が大きいほど歩調は小さくなる可能性があるということが、慣性モーメントの観点から推測できる。形態学的影响は下肢長の差であるが、力学的な影響については、以下に説明する。

歩行運動の原動力は重力であり、筋力は歩行の各相において関節の運動を制限することにもっぱら利用されている。したがって歩行運動を倒立振子の運動としてシミュレーションすることができる。振子の周期は、支点から重心までの距離の平方根に比例するので、歩行運動を倒立振子の運動として考えた場合、体格の差、すなわち地面から体重心までの距離の差は、この振子の周期、すなわち歩調 (周期の逆数) に影響すると考えられる。そこで、体格の影響を除くために次式を用いて歩行比の基準化を行い、基準化歩行比 WRn を算出した。

$$SLn = (SL / \text{個人の身長}) \cdot \text{平均身長}$$

$$SRn = SR \cdot (\text{個人の身長} / \text{平均身長})^{1/2}$$

$$WRn = SLn / SRn$$

SL : 個人の歩幅 (m) SLn : 基準化した歩幅

SR : 個人の歩調 (steps/min)

SRn : 基準化した歩調

WRn : 基準化歩行比

本研究における日本人の計測では、各対象の身長は計測は行っていないので、表9には、Sekiyaら⁹⁾の報告による日本人の基準化歩行比を示した。マリ人に関しては、ビデオ画像から身長を求めることができた男性56名、女性90名に関して、基準化歩行比を求め、表9の下段に示した。Sekiyaらの結果 (平均値と標準偏差) およびマリ人における結果をもとに男女間および人種間において有意差検定を行ったところ、いずれに関しても有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

表9 歩幅および歩調を身長で基準化したときの日本人とマリ人における男女別の基準化歩行比 (Standardized walk ratio)。カッコ内は標準偏差。日本人およびマリ人の男女間、人種間に有意差は観察されなかった ($p < 0.05$)。基準化の方法については本文参照。

基準化歩行比 (m/steps/min)	男性	女性
日本人*	n=30 0.0063 (0.00082)	n=34 0.0064 (0.00060)
マリ人	n=56 0.0064 (0.00071)	n=90 0.0065 (0.00074)

*: Sekiyaら⁹⁾の報告より

文献

- 1) 安倍希美 (1994): ヒトにおける四足歩行とテンポに関する研究. 科学研究費課題番号: 06780097.
- 2) 足立和隆, 楠本彩乃, 川田順造, 保坂実千代 (1993): 西アフリカ諸民族の生体計測調査 (その1) - 身体技法との関連 -, アフリカ研究, 43, 1-30.
- 3) Du Chatinier, K., Molen, N. H., and Rozendal, R. H. (1970): Step length, step frequency and temporal factors of the stride in normal human walking. Proc K Ned Akad Wet C. 73(2), 214-227.
- 4) 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 (2), 187.
- 5) 遠藤萬里, 足立和隆 (1983): 路上歩行者の歩行周波数と速度, 人類学雑誌, 91 (2), 256.
- 6) 不動産の表示に関する公正競争規約施行規則 (平成14年12月26日公正取引委員会承認第199号) 第5章 表示基準 第10条 (8) (9) (10).
- 7) Maruyama, H. and Nagasaki, H. (1992): Temporal

- variability in the phase durations during treadmill walking. *Human Movement Science*, 11, 335-348.
- 8) Murray, M. P., Kory, R. C and Clarkson, B. H. (1969): Walking patterns in healthy old man. *Journal of Gerontology*, 24: 169-178.
 - 9) Sekiya, N., Nagasaki, H., Ito, H., and Furuna, T. (1996): The invariant relationship between step length and step rate during free walking. *Journal of Human Movement Studies*, 30, 241-257.
 - 10) Sekiya, N., Nagasaki, H., Ito, H. and Furuna, T. (1997): Optimal waking in terms of variability in step length. *J. Orthop Sports Phys Ther*, 26 (5), 266-272.
 - 11) Terrier, P. and Schutz, Y. (2003): Variability of gait patterns during unconstrained walking assessed by satellite positioning (GPS). *Eur J Appl Physiol*, 90(5-6), 554-261.
 - 12) Terrier, P., Ladetto, Q., Merminod, B. and Schulz, T. (2000): High-precision satellite positioning system as a new tool to study the biomechanics of human locomotion. *J. Biomech*, 33(12), 1717-1722.
 - 13) 山崎昌廣 (1988) : 日本人の歩行. 日本人の生理 (佐藤方彦編), 朝倉書店, 138-153.
 - 14) 山崎昌廣, 佐藤陽彦 (1990) : 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-. *人類学雑誌*, 98 (4), 385-401.
 - 15) Zarrugh, M. Y., Todd, F. N. and Ralston, H. J. (1974): Optimization of energy expenditure during level walking. *European Journal of Applied Physiology*, 33, 293-306.
 - 16) Zarrugh, M. Y. and Radcliffe, C. W. (1978): Predicting metabolic cost of level walking. *European Journal of Applied Physiology*, 38, 215-223.
 - 17) Zijlstra, A., de Bruin, E. D. Bruins, N. and Zijlstra, W. (2008): The step length-frequency relationship in physically active community-dwelling older women. *Eur J Appl Physiol*, DOI 10. 1007/s00421-008-0795-6.