

ミュールによる歩行への影響

川端 博子*・松尾久美子**

キーワード：ミュール、靴の補助具、歩行、着用官能試験、動作解析、足圧分布

1. 緒言

ミュールとは、『足を滑らせて履くスリッパの一種で、かかとを固定するストラップがないサンダル形式のものでバックレスサンダルともいう履物』である¹⁾。ミュールは1999年から流行し始め、現在では可愛らしさ、女性らしさを強調したファッションアイテムとして定着し、季節も夏場に限らず広く用いられている。

しかしながら、片瀬ら²⁾が指摘しているように、前足部にしか支持部のない構造であるため、歩行の不安定や階段での転落など、安全性の欠如が懸念される。また、うるさい足音も周囲への迷惑行為とみなされている。2006年7月に本学女子学生102名に実施した調査でも³⁾、約6割が所有し、週平均3.2回の着用頻度であった。デザイン面において高い評価をしているが、機能・安全面では不満が多いことを明らかにしている。

ミュールはかかとや脇を覆う部分が無く、足指から甲部分のみで足を固定させていることが不安定な歩行をもたらす原因と考える。かかとが0.5cm出るのがベストサイズとされ、靴よりも足底が小さいので足がはみ出してしまう。また、

足を覆う部分が少なく、足甲のアーチが合えばその他の部分のサイズが合わなくても履くことが出来るため、安易に選ばれがちである。購入前の試し履きの程度は「履いて数歩歩いてみる」69%、「履いて立ってみる」28%で、シューフィッター協会が推奨する「数分くらい周囲を歩いてみる」では3%にすぎず、あまり慎重に選択されていない現状であった³⁾。

ハイヒール靴の研究によると、歩行自体の安定性が低下すること、歩容や姿勢に影響すること、また、筋電図の波形やエネルギー消費量から生体負担が増加すること⁴⁾などが報告されている。ミュールはヒールの高いものも多く、これらの弊害がいっそう増すのではないかと考える。

本研究では、流行やおしゃれを追求する反面、機能性や安全性をおろそかにしがちな現状に対し、裸足に見立てたバレエシューズとミュールによる比較からミュールによって歩行にどのような影響が生じているのか、補助具の使用によって歩行の改善に効果をもたらすかについて検討することを目的とする。

2. 方法

2.1 ミュールと補助具の選定

市場調査をもとに、2006年夏において一般的

* 埼玉大学教育学部家政教育講座

** SMBCフレンド証券株式会社

なスタイルとみなされるミュール（つま先高1.5cm、ヒール高10cm、ヒール底 ϕ =1.9cm円形、合成皮革の甲材、合成底、価格：2900円）を若年女性向けカタログ通販の掲載品から選定した。（図1）

ミュールに使用する補助具には各種のものが市販されるが、土踏まず、つま先、第二アーチ、指の付け根などの各部位に敷いて使用するものは、靴と足の空間を埋めてフィット性を高め、衝撃緩衝に効果をもたらすが、外観面の評価は低かった³⁾。甲と靴の離れを防ぐバンドタイプものは履き心地の評価が最も高く、デザインを考慮して選べば外観を損なわないと判断し、バンドタイプでテストした。靴底のヒール付け根から足のかかと部分の押さえは半透明なポリウレタンエラストマーの輪状で（ ϕ =2.5mm、長さ30cm、価格：105円）、若干の伸縮性を有する（図1に実線で記載）。甲を留める部分は銅・鉄・垂鉛の合金の鎖で（図1に破線で記載）、足首と甲に合わせて調節することが可能である。

被験者には足に合うバレエシューズ（23.0、23.5、24.0、24.5）とミュール（M：23.5～24.0、L：24.5～25.0）を選んでもらい、すべて素足で着用してもらった。バレエシューズ、ミュールの順にテストしたが、補助具の有無の順位はランダムに設定した。

2.2 被験者

被験者は埼玉大学の女子学生11名（#1～#11）で、年齢は21～23歳（平均21.9歳）である。被験者の身体的特性と足サイズを表1にまとめた。

2.3 歩行実験

歩行実験では平地歩行と階段昇降について履物間で比較する。平地歩行はキャンパス内のカーブのないアスファルト舗装道路25mで行い、歩数と所要時間を計測した。階段昇降では、本学総合体育館内の階段19段（踏み面29cm、蹴上げ16cm）で、昇り、降りの順に所要時間を

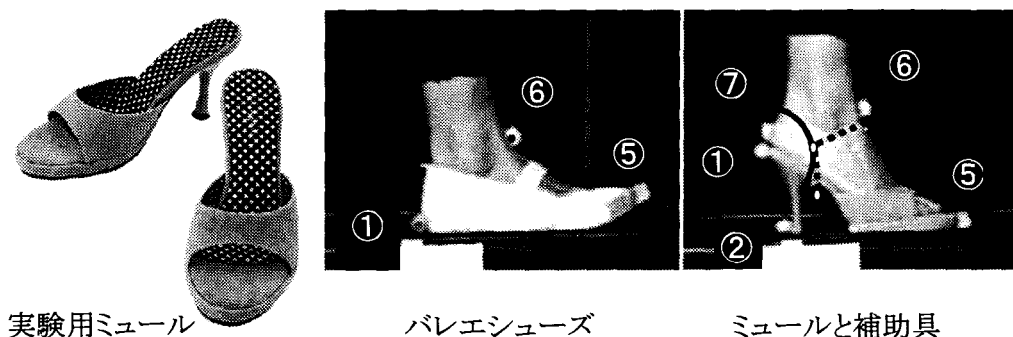


図1 実験用ミュールと補助具および計測点

表1 被験者の身体的特性と靴のサイズ

	身長 (cm)	体重 (kg)	足長 (cm)	足幅 (cm)	ミュール サイズ	バレエ シューズ
全平均 (11人)	158.7	52.9	23.3	9.6	M	24.5
最小値	153.0	44.0	21.7	8.8		
最大値	167.0	60.0	24.3	10.8		
# 9	159.0	55.0	23.9	10.4		

計測した。

2.4 着用官能試験

歩行実験を終了後、質問紙によりミュールの着用感に関する質問に回答してもらった。質問項目は、サイズに関する質問3項目と機能・安全面の質問7項目である。(図4参照)回答は「そう思う(4点)」「ややそう思う(3点)」「あまりそう思わない(2点)」「そう思わない(1点)」の4段階からの選択とした。

2.5 足部の形状観察

歩行実験において最も平均的な特徴を示した被験者1名(#9)を対象に、両足に均等に体重がかかるようにアクリル板の台に立ってもらった。左足裏と側面形状を素足とミュール着用についてデジタルカメラで撮影し、形状を観察した。

2.6 歩行時の足部の動作解析

被験者#9に3.5km/hのトレッドミルで歩行してもらった。歩行が安定した時点の動きを側面からビデオ撮影でとらえ、画像をもとに右足1歩の動きについて動作解析を行い、履物間で比較した。計測点としては、図1に示した「バレエシューズ3点」：靴かかと①、つま先⑤、足甲⑥と「ミュール5点」：靴かかと①、靴ヒール②、つま先⑤、足甲⑥、足かかと⑦である。

2.7 静止時・歩行時の足圧分布の比較

足圧計測装置F-スキャン(ニッタ株式会社)を用いて、靴の足底形に受圧面を型取り、右足の荷重分布と荷重中心位置をとらえた。立位静止状態と歩行状態(トレッドミルで3.5km/h)を1コマ1/30秒で5秒間計測し、バレエシューズとミュールにおける特徴を比較した。

3. 結果と考察

3.1 歩行実験

3.1.1 平地歩行

図2は、靴種ごとの平地歩行の歩数と所要時間を全平均と#9について示したものである。歩数の平均値(標準偏差)は、バレエシューズ:34.3(2.9)、ミュール:37.5(3.8)、ミュール+バンド:36.0(2.5)であり、所要時間の秒数の平均値(標準偏差)[時速]は、バレエシューズ:16.5(1.9)[5.44km/h]、ミュール:17.8(2.5)[5.05km/h]、ミュール+バンド:16.8(1.9)[5.35km/h]となり、短距離で実験設定をしたためか早足の傾向となっている。歩数・所要時間ともに個人差がみられた。歩数は1名(#8)を除くその他すべての者でミュールを履いた方で増加していた。歩数の平均値はバレエシューズの時が最も少なく、ミュールの場合のみで5%水準の有意な差がみられ、バンドの有り無し間には有意差はなかった。所要時間は2名(#4と#8)を除く被験者でバレエシューズが少なくなるが、所要時間・歩行速度はどの履物間にも有意な差はなかった。

歩数と所要時間には比例関係がみられ、相関係数(バレエシューズ: $r=0.958^{**}$ 、ミュール: $r=0.957^{**}$ 、ミュール+バンド: $r=0.981^{**}$)は高く、1%水準で有意な相関であった。即ち、同一距離での歩数が多い者、即ち小股の者は、歩行に要する時間が長くなることを示している。

全体としてヒールの高いミュールを履くと歩数が多くなり小股になるが、歩行スピードに及ぼす影響は少ないとみなされ、先行研究⁹⁾とも一致している。補助具の有無による違いについては明確ではないが、歩数の増加抑制とスピード維持に幾分効果がみられると推察される。

3.1.2 階段昇降

階段昇降における11名の平均所要時間(秒)(標準偏差)をまとめると、昇りにおいて、バレエシューズ:9.54(0.68)、ミュール:10.20(1.09)、ミュール+バンド:9.89(1.23)、降り

においては、バレエシューズ：8.51 (0.80)、ミュール：9.82 (0.97)、ミュール+バンド：9.80 (0.88) であった。

図3は、昇り・降りの所要時間の相関を示したものである。平地歩行と同様に昇りと降りの所要時間に5%および1%水準の有意な相関がみられる。(バレエシューズ： $r=0.716^*$ 、ミュール： $r=0.892^{**}$ 、ミュール+バンド： $r=0.886^{**}$) グラフの傾向から、バレエシューズの時が最も所要時間が少なく、ミュールでは長くなるが、ミュールとミュール+バンド間で差が見られない。個人差は平地歩行と同様に大きい、バレエシューズの所要時間は昇り>降りであるのに対し、ミュールでは違いはみられなくなる。昇り・降りともに、ミュール≒ミュール+バンド>バレエシューズである。ミュールによって特に降りに要する時間が長くなるため、昇り時間との差が少なくなる。降りの平均所要時間において、バレエシューズとミュール、バレエシューズとミュール+バンドの間に危険率1%で有意差がみられた。補助具による効果はあまりみられないと推察される。

以上のことから、ミュールの着用は階段昇降の機能に影響を及ぼすこと、特に降りに影響が出やすいことが示唆された。降りにおいては足部が下向きになるため一層脱げ易くなり、前傾姿勢になると考えられるが、補助具を用いても

あまり効果は見出せなかった。

3.2 着用官能試験

図4は11名による着用官能試験の平均得点の結果をまとめたものである。「△歩きにくい」は歩きやすいを、「△安定しない」は安定するの回答を反転した数値で表記している。従って、図4ではマイナス評価は得点が高く表される。ミュールのみでは、「サイズが合わない」「横幅が合わない」「甲の高さが合わない」では、平均値が2前後で否定的である。しかし、「脱げやすい」「転びやすい」「足が前にずれる」「足音が気になる」「安定しない」「歩きにくい」は2.5以上となり肯定的である。補助具によって機能面・安全面で全体的に改善がみられ、「転びやすい」の回答において危険率5%で有意な差がみられる。前述のように、ミュール購入時にはあまり慎重にサイズ選択されてはいないが、着用後にはかなりの不都合が発生している実態がとらえられた。

図4中に被験者#9の回答を付記した。#9はサイズに不満がなく、機能面でも満足度が高い回答である。「足音が気になる」「転びやすい」においては満足度が低く、補助具によって「転びやすい」が幾分改善されるが、「足が痛い」で評価が下がっている。足の痛みは補助具によって足首と甲が押されてあたるために生じたも

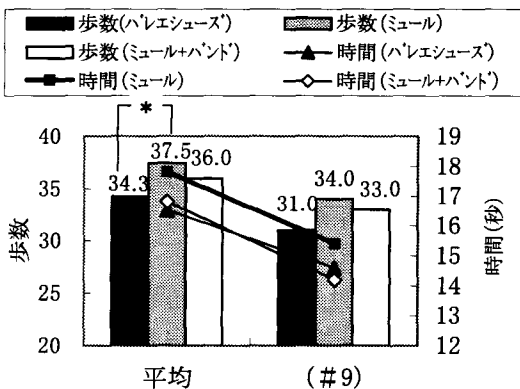


図2 平地歩行の歩数と所要時間

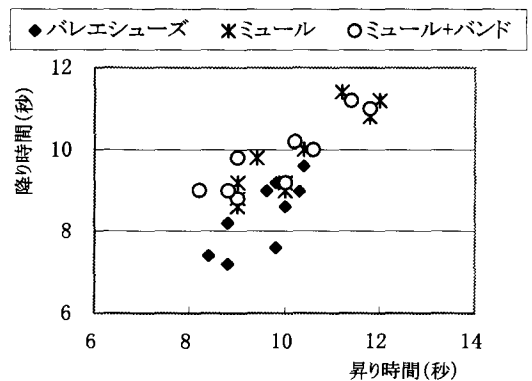


図3 階段昇降の時間関係

のである。

3.3 足部の形状観察

表1に示すように、被験者#9はミュールのサイズはMであったが、バレエシューズでは24.5cmのものを選択した。実際、11名のうちMを選んだのは8名で、足長は217~239mm、足幅は88~104mmに及んだことから、ミュー

ルが許容するサイズの範囲は広いと推定される。

図5は、はだしとミュールを履いた状態の裏面と側面の足部形状である。かかとでの靴底からはみ出しとつま先部分の前方への出方にも個人差がみられた。#9は足幅が大きく甲が高いため、ミュール前足部の覆いが幅方向に伸ばされ、内側も外側も全体的に大きく膨らんでいることがミュールを履いた裏面の写真から観察

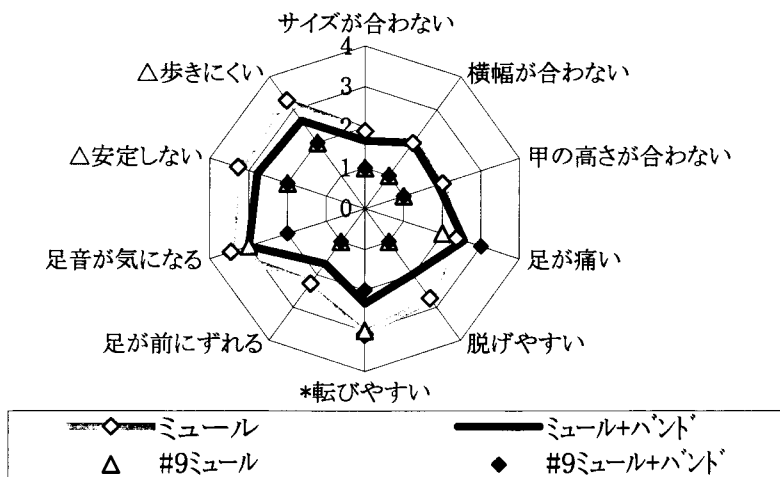


図4 ミュールの着用官能試験



図5 被験者の足部形状

される（矢印箇所）。これは、脱げを防いでミュールと足の固定のために生じたものである。また、側面の観察から足底がミュールからはみ出している様子が観察され、狭い面積で身体を支えていることがわかる。また、ヒールによって甲の筋肉は伸ばされ厚みが少なくみえるため、すっきりとした外観となり、美的効果が示唆される。

3.4 歩行時の足部の動作解析

図6はバレエシューズ、ミュールおよびミュール+バンド着用による右足につけたポイント（靴かかと①、つま先⑤、甲⑥、足かかと⑦）の1歩間の軌跡である。図中の■○□は踏み出しスタート時（つま先⑤でX=0位置）で、つま先の最も低くなる位置をY=0として足の動きを表記した。甲⑥の動きには履物間の違いは少ないため、以下、靴かかと①、つま先⑤、足かかと⑦の動きの特徴を中心に記述する。

バレエシューズでは、着地直前につま先⑤は10cm以上反り上がり、着地瞬間はかかとが着地し、その後順次、足裏中心～足裏全面（図1参照）、そして足先へとスムーズに接地が行われる。靴かかと①は、後ろへ蹴り出す前の早い段階で地面から離れ始め、その後徐々に上り一気に直上し、斜め前方へなめらかに下降していく。蹴り出し後においても足指はまっすぐ伸び、足首・甲の伸びも少なく緊張なく移動していることが画像から観察された。ミュールに比べてY方向に高くはね上がるのも、体重のかからない移動時（非接地時）においても足が上方にスムーズに動くことを表している。つま先⑤が行きと戻りで同じカーブの軌跡を描くのは、足首での上下回転（あおり）がスムーズになされるためと考える。

ミュールでは、着地瞬間は細いヒール底のみで体重を支えるためバランスが取りにくく危険な状態である。次の瞬間にヒールに近い足底中央部分から足底全面へと接地する。その後は、ヒール底と足底全面ともに接地したままの、い

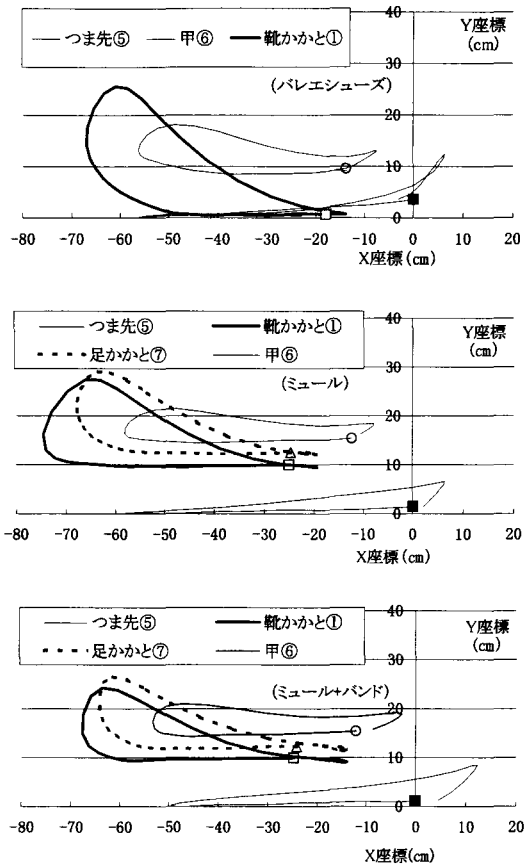


図6 動作解析による足部の動き

わゆるすり足が続く。つま先⑤の反り上がりは約6cmでバレエシューズより少ないのは、不安定な着地に対してガードが働くためかもしれない。また、つま先⑤のループが行きと戻りで異なる軌跡を描くのは、踏み出し直後からすり足状態が続くためである。蹴り出し時にはミュールと足は離れ、この時、足指は脱げを防ぐために曲がり、足首から甲は大きく伸びて緊張している様子が観察された。靴かかと①はヒールによって10cmの高さを維持しており、①と⑦のループ形状は一致せず、靴かかと①が離れることを示している。足かかと⑦と甲⑥の軌跡より、足の動きがバレエシューズより小さいことも明らかである。

ミュール+バンドでは、つま先の動きはミュー

ールと同じような傾向であるが、反り上がりが大きく現れたのは、ミュールが足に固定され安定性が増したためかもしれない。バンドの使用によって、靴と足のかかと(①と⑦)の動きに一致がみられ、離れが少なくなることを示している。また、蹴り出し時には、バンドなしより幾分足指の曲げと足首～甲の伸びが少ないことが画像より観察された。足かかと⑦と甲⑥のループはY方向に小さく、補助具は体重のかからない非接地時における足の動きに影響を及ぼすのかもしれない。

図7はかかと位置での足とミュールの距離を示したものである。ミュールのみでは最大で10.1cmも離れるのに対し、バンドによって6.2cmに減少する。最高値となるタイミングにずれがみられ、0.5秒を過ぎるあたりまでは同じようであるが、それ以降はバンドではストップがかかっている。

以上、動作解析の比較から、ミュールおよびヒール高によって着地時のつま先の動きが妨げられること、非接地時において足部上方の動きが小さくなることが分かった。今回のミュールにおいては、補助具の利用は脱げを防ぐ上で有効であるが、平地歩行においては大きな効果はないのではないかと考える。今後の課題として、階段昇降時に焦点をあてること、ヒール高の異なるミュールでの補助具の効果と役割について

も詳細に分析することが必要である。

3.5 足圧分布の計測

3.5.1 静止状態

図8には、立位静止時の足圧分布の例として計測開始1秒時点の結果を示した。バレエシューズと比較すると、ミュールによって前傾姿勢となり、足先部分への荷重の偏りが観察される。ヒールによる前傾姿勢は、歩容への影響とともに腰への負担など健康への影響も指摘されており⁵⁾、ヒール高による立位時の姿勢・重心への影響については今後、更に詳細に検討していく計画である。荷重値は右足でのみで計測しており、両足での体重バランスの情報がないため、靴による違いについて十分な考察を行うことができなかった。また、バレエシューズとミュールで足底の形が異なること、とくに面積の小さいミュールの場合には全体重を計測部分で支えていないことも考えられるため、この点の扱いについても今後の課題である。

3.5.2 歩行状態

図9は、トレッドミル歩行2.5秒間の右足裏接触面積の時間変化である。履物間での波形のずれはデータの取り込み開始の時間差によるが、歩行の間、同一履物内では同じような波形が再現されている。面積が0となるのは(0.6~1.0秒付近)、左足にのみ体重がかかるときである。

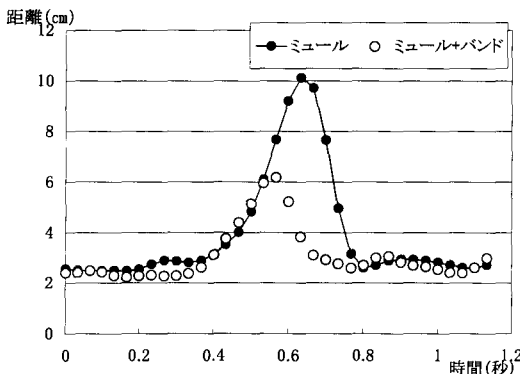


図7 歩行時における足かかと⑦と靴底①の距離

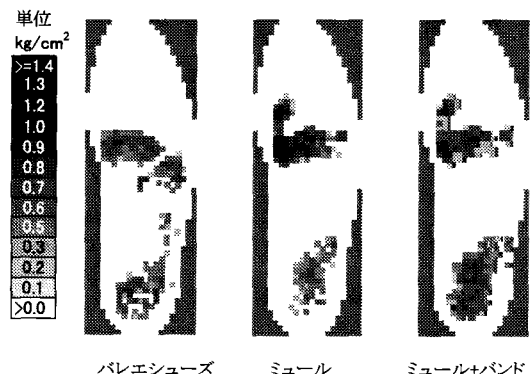


図8 立位静止時の足圧分布

バレエシューズでは、1.2秒位から接地面積がなだらかなカーブを描いて徐々に増加してピークを示した後急速に減少するが、1.6秒付近で一旦なだらかとなり1.9秒付近で一気に下降していく。動作解析で示したように、なだらかな増加はかかとから足裏中央部へそしてつま先にスムーズな体重移動がなされるため、なだらかな下降は親指付近での蹴り出しをしっかりとしたものになっていると考える。

ミュールでは、着地から短時間でヒール底と足裏中央部への接地が行われ、その後1.2~1.4秒付近まで最大値を維持したままである。1.6秒付近で蹴り出しにもたつく傾向もみられる。

バンドで固定した時も同様の傾向である。足裏中央部の接地時には2つのピークがあるようであるが、バンドによる何らかの作用が生じたかもしれない。

図10は荷重中心の軌跡を記したものである。バレエシューズでの荷重中心の軌跡は、かかとから始まり小指側へのカーブがみられているので、はだしに近い体重移動が行われているといえよう⁷⁾。ミュール着用時には、軌跡は直線的である。踏み出し時にも荷重はかかとに加わらず、その後も足裏中央付近に長く集中することが観測された。

着用官能試験では、脱げにくくする上ではプ

ラスの評価となったが、足圧分布からは補助具の有効性について確認するには至らなかった。大西ら⁶⁾は、筋放電の結果から生体負担の軽減効果を述べており、この点との整合性のついては機会を改めて検討する計画である。

4. 結論

本研究では、バレエシューズとミュールによる比較からミュールによって歩行にどのような影響が生じるのか、補助具の使用によって歩行の改善に効果をもたらすかについて明らかにすることを目的とした。着用官能試験、歩行実験、足部の動作解析および足圧分布計測により、履物による歩行の違いを明らかにし、以下の結果を得た。

- (1) ミュールのサイズ許容量は広く、安易に選定・購入される傾向があるが、歩行時には機能面・安全面で不都合を感じている。
- (2) 歩行実験11名の結果から、ミュールによって平地歩行で歩幅が狭まり、やや速度が低下する傾向がみられた。階段昇降では所要時間が増加し、中でも降りる時間に影響が生じていた。
- (3) ミュールに補助具を用いて比較したところ、着用官能試験では脱げにくい、転びにくい

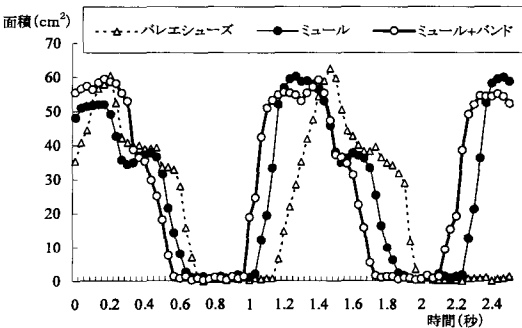
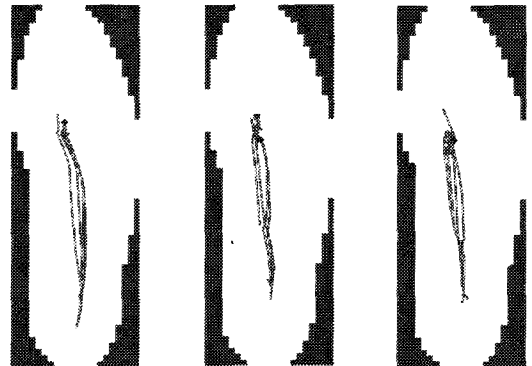


図9 歩行時の足裏接地面積の時間変化



バレエシューズ ミュール ミュール+バンド

図10 歩行時の荷重中心の軌跡

など機能・安全面の回答で改善がみられた。

(4) 被験者1名の動作解析から、ミュールによってつま先の上がり十分でなく、足全体の動きが小さくなることがとらえられた。補助具によって足とミュールが離れにくくなること、蹴り出し時に足指と足首の緊張緩和を確認したが、足部のうごきに及ぼす効果は少ないようであった。

(5) 足圧分布から、ミュールによって着地時のかかと部分への体重移動と蹴り出しがスムーズでないことが推測されたが、補助具の効果については確認できなかった。

今後は、ヒール高の異なるミュールで階段昇降を含めた歩行実験をもとに被験者の足サイズとの関連を含めた検討を行い、ミュールの機能性の評価と機能性維持について考察することが

課題である。

引用文献

- 1) ファッション事典、156、文化出版局 (2000)
- 2) 片瀬真由美、平林由果、塩之谷香、栗林薫：金城学院大学消費生活研究所紀要、5 (1) 25-34 (2000)
- 3) 佐々木祥子：埼玉大学教育学部平成18年度卒業論文
- 4) 吉田敬一ほか：衣生活の科学、60-61、弘学出版 (2001)
- 5) 酒井豊子、牛腸ヒロミ編著：衣生活の科学、85-88、放送大学教育振興会 (2002)
- 6) 大西憲和、斎藤真、平林由果、片瀬真由美、栗林薫、塩之谷香：人間工学、41 (2) 51-56 (2005)
- 7) 藤原健固：歩きの科学、56-60、BLUE BACKS 講談社 (1991)

(2007年3月30日提出)

(2007年4月20日受理)

Influence of High-heeled Mule Sandals on Walking

Hiroko KAWABATA and Kumiko MATSUO

Keywords : mule sandals, instep strap, walk, sensory test, motion analysis, sole pressure distribution

Functional mobility and comfort of high-heeled mule sandals were investigated, as compared with sport shoes. The effects of instep bands on mule sandals were also tested. Eleven female university students participated in the test of walking and ascending and descending of stairs to measure the time and evaluate comfort. When wearing mule sandals, the overall walking velocity decreased in comparison with sport shoes. The mule sandals with instep bands achieved higher evaluation for functional mobility and safety being more resistant to coming off.

Further investigation for motion analysis and sole pressure distribution were made on the subjects with average characteristics of walking. From the motion analysis of one step, it was revealed that the toe lifting was lower, the overall movement of the foot was smaller, and the sole pressure distribution did not make a smooth shift of weight from the heel to the toe when wearing mule sandals. It was also revealed that the use of instep bands made little difference in the movement of the feet while walking.