

木製はきものの形態と歩き心地の関係について

—人間の動作・形態特性に基づいた木製はきものの開発(第2報)—

佐藤幸志郎*・河内まき子**・持丸正明**・長谷和徳**

*日田産業工芸試験所・**生命工学工業技術研究所人間環境システム部

Relation between wooden clog's shape and feeling in the legs

-Development of wooden clogs founded on the human function and morphology (Part 2) -

Koushirou SATOU*・Makiko KOUCHI**・Masaaki MOCHIMARU**・Kazunori HASE**

*Hita Industrial-Art Division・**Natn.Inst.of Biosci & Human-Tech.

要旨

第1報では木製はきものの形状要素と歩行時の下肢負担の間に関連があることを確認した。本研究では第1報の結果に基づいて、フィッティング方法まで含めた歩きやすい木製はきものの設計仕様を提案した。また提案した仕様中の後部接地点Cの位置の精度を高めるため官能検査を実施し、歩き心地の良い条件を確認した。

1. はじめに

本研究は変形しない素材である木材などの素材で作られたはきものの形態や足部への固定方法といった要素が歩行動作にどのような影響を与えているかについて、動作計測による分析的評価と、官能検査による総合的評価の二つの観点から考察するものである。

第1報では主に歩行動作時における下肢関節への負担に着目し、木製はきものの矢状面モデルの提案とそれに基づく実験モデルによる歩行動作を動作計測装置により床半力、関節角度変化、関節モーメントに着目して解析し、矢状面モデルの有効性を確認することができた⁽¹⁾。

本研究では製品開発プロセスに第1報の結果を反映させ、フィッティングに必要な足部計測点の抽出から具体的なフィッティングの方法まで含めた、歩きやすい木製はきものの設計仕様を提案する。また提案する仕様中のC点位置をより明確にするために、実験用木製はきものを複数の被験者の足形状に合わせて製作し、一対比較や分散分析を用いた官能検査により仕様の精度を高める。

前回確認された下肢負担の少ない木製はきものの形態要素と歩行動作の関係を、実際に被験者の感覚によって裏付け、精度を高めることができれば木製はきもののフィッティングをさらに的確なものにすることができると考えている。

2. 方法

2.1 下肢負担の少ない木製はきものの設計仕様

第1報では木製はきものを履いた下肢について、Fig.1(a)のように中足指節関節点(以下MP関節)、足関節点、膝関節点、股関節点で連結された4節と、はきもの

の最前部下端A点、静止立位時に接地している部分の先端B点、その後端C点からなる2次元剛体リンクモデルと仮定し、B点とC点の変位やストラップの方法が下肢負担に影響を与えていることが確認された。

下肢負担が少なくなるように設計仕様をまとめたものが以下の仕様1.~5.である。Fig.1(b)

- 仕様1. B点はMP関節より1cm後方
- 仕様2. C点は足関節の鉛直下方付近
- 仕様3. ストラップがMP関節の動きを束縛しない
- 仕様4. 遊脚期にはきものが脱げない
- 仕様5. 足とはきものの位置がずれないこと

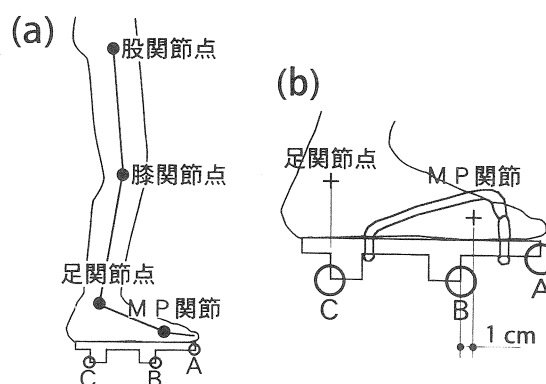


Fig.1 矢状面モデル(a)と設計仕様(b)

2.2 設計仕様に基づく実験用木製はきもの

本研究では設計仕様に基づくはきものを実際に製作して歩行試験を行い仕様の有効性を確認するとともに、C点位置を変化させ官能検査を行い、歩き心地の良い条件を確

認し、仕様の総合的な有効性を高めることを目的としている。

実験に用いた木製はきものは、Fig. 2のとおりである。材料には対象業界の主要材料であるスギ材を用い、繊維方向がはきもの前後になり、柁目がはきもの表と裏になるように木取りしたものである。今後の商品化や企業化への迅速な対応も考慮し、対象業界での主要量産製品と同じ製造工程となるよう、底には接地する部分に滑り止めモールド加工をした硬質発泡ウレタンゴム（5mm厚）を接着（コニシ（株）・合成ゴム系接着材ボンドG17）し、足の甲を皮革ストラップで固定する一般に普及している木製サンダルと同様のものとなっている。ストラップは仕様3を満たすために手芸用ゴム布を部分的に継ぎ足して伸縮性を持たせたものを鋳（真鍮製、鋳芯長23mm、鋳頭径10mm）を4箇所打って固定している。また産地の量産製品は切削加工を量産機械で行うことが前提になっているので、製品の外形寸法及び切削部分は仕様1と仕様2を実現するとともに、量産機械で加工可能な範囲（長さ255mm以内、幅120mm以内、高さ45mm以内、上面と底面の曲面は幅方向に高さの同一な二次曲面のみ）にとどめている。

製品を側面からみたときのはきものの特徴となっている先端上面のくぼみの縁は、拇趾及び第二趾の末節骨と指節骨の関節の近くに位置し、拇趾及び第二趾を内転させてくぼみに引っ掛けることにより、足部をはきものに固定させるために設けたものである。このくぼみと伸縮するストラップにより仕様4と仕様5のはきものの固定を実現することができる。

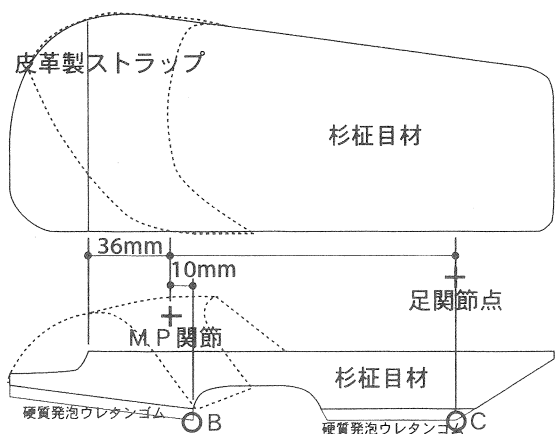


Fig. 2 実験用木製はきもの図面

2.3 フィッティングに必要な足部計測点

個人の足形状の差に対応するために実験用木製はきもの矢上面各寸法については、被験者のMP関節位置を基準にして、MP関節から各関節までの相対的な距離により底面のB点やC点や上面のくぼみの位置を決定する。

MP関節からの相対的な各関節の矢上面距離を計測す

るためにスクライバー（日本靴総合研究会製）を使って被験者8名から右足部の外郭投影図を作成した（Fig. 3）。MP関節から各関節までの距離は足軸に対する投影距離を使用する。足軸は全日本履物団体協議会の定義を使用する⁽²⁾。また拇趾及び第二趾の末節骨と指節骨の関節位置の目安とするために、拇趾と第二趾の間の股の輪郭を外郭投影図に記入した。8名の外郭投影図による各関節間の寸法はTable 1のとおり。

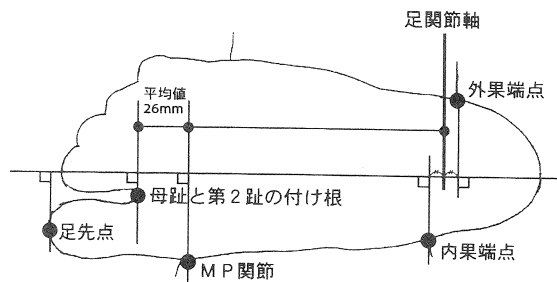


Fig. 3 右足部外郭投影図

Table 1 被験者の各関節間の投影距離

被験者	年齢	性別	身長	体重	足長	足囲	距離A	距離B	距離C
A	33	M	171	76	251	253	25	70	129
B	42	M	163	50	237	233	23	63	117
C	31	M	160	72	238	236	30	70	116
D	33	M	167	75	256	262	32	71	127
E	30	F	161	55	229	222	27	68	117
F	33	F	167	51	231	218	25	64	118
G	61	M	153	52	229	237	25	64	109
H	51	M	163	70	234	260	24	62	119

距離A MP関節～母趾と第2趾の股の付け根
 距離B MP関節～足先点
 距離C MP関節～足関節軸

拇趾及び第二趾の末節骨と指節骨の関節位置を拇趾と第二趾の股の付け根から足先点方向に10mmの位置と仮定すると被験者8名の平均が36mmとなりバラツキも36mmを中心として正負6mmの範囲内に収まる。今回は量産機械による生産に対応する意味から、上面のくぼみの位置はMP関節から36mmの位置に固定する。

足関節の軸は内果端点から外果端点をとおっていると考えられるので、軸としては足軸に対して直交しないため足関節の矢状面位置を特定できない。今回はMP関節から内果端点までの距離とMP関節から外果端点までの距離の中間を足関節までの距離の初期値として実験用はきものを製作した。

3. 実験結果及び考察

2.4 実験内容

官能検査は仕様2のC点の位置をより明確にするために、右足部の外角投影図の被験者中の被験者A, B, C, Dにより行われた。実験用木製はきものとして被験者それぞれに対しC点をばらつかせた3条件のはきものを用意して比較し、歩き心地の点で最も好まれるC点の条件を選び出すこととした。条件はどの被験者に対しても、以下の3条件で実験を行った。実験用はきものは、C点の位置以外の条件(B点位置, 上面くぼみの位置, ストラップの方法など)は、同じになるよう製作した。

- 条件1 : C点が足関節点鉛直下方より10mm以上前方
- 条件2 : C点が足関節点鉛直下方の正負10mm以内
- 条件3 : C点が足関節点鉛直下方より10mm以上後方

3条件の優劣は一対比較法により3条件の中から2つづつを組にして3とおりの組合せを作り、4名に比較させた。順序効果の有無を確認するために、条件iと条件jの組合せでは、2名に条件iを先にはかせ、他の2名には条件jを先にはかせてその評価をさせた。

質問項目は、

- 質問1 足首の動きがなめらかなのはどちらですか。
- 質問2 総合的に歩きやすかったのはどちらですか。
- 質問3 その他、ストラップの良し悪し、段差の感触、踵のクッション性などお気づきの点がありましたら記入をお願いします。(自由意見)

というもので、質問1と2については、回答はどちらも前後の良し悪しの程度を比較させ、

- ・前が後より確かに良い +2点
- ・前が後よりいくぶん良い +1点
- ・前と後にまったく差がない 0点
- ・前が後よりいくぶん悪い -1点
- ・前が後より確かに悪い -2点

という5段階で表現させた。

実験場所は屋内のPタイル張りの平坦な床で、片道10mの直線の歩行路で行った。実験手順は、1つの組合せにつき、歩行前に質問内容を被験者に把握させた後に、それぞれ1条件に1往復、あわせて2往復を被験者に任意の速度で歩かせ、その直後に調査票に記入させた。組合せを変えるときにはその間に被験者の履きなれている履き物で歩行路を往復させた。

得られたデータは順序効果や組合せ効果の確認できるScheffeの一対比較集計表⁽³⁾にて集計を行い、質問1と質問2について、それぞれ以下の分散分析表(Table 2)(Table 4)と主効果の推定値の尺度図(Table 3)(Table 5)を作成して判定を行った。

Table 2 分散分析表(質問1)

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比 F _o
主効果 α_i	13.000	2	6.500	5.506
組合せ効果 γ_{ij}	0.375	1	0.375	0.318
平均嗜好度 π_{ij}	13.375	3	4.458	
順序効果 δ_{ij}	0.375	3	0.125	0.106
平均	13.750	6	2.292	
誤差	21.250	18	1.181	
総計	35.000	24	0.000	

Table 3 一対比較による主効果の推定値(質問1)

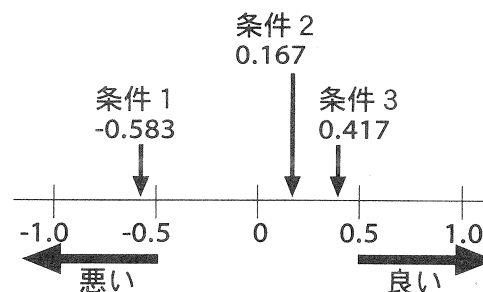
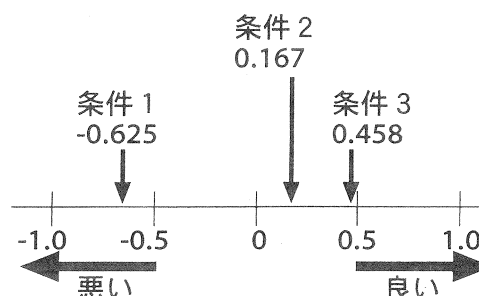


Table 4 分散分析表(質問2)

要因	平方和	自由度	不偏分散	分散比 F _o
主効果 α_i	15.083	2	7.542	6.101
組合せ効果 γ_{ij}	1.042	1	1.042	0.843
平均嗜好度 π_{ij}	16.125	3	5.375	
順序効果 δ_{ij}	0.625	3	0.208	0.169
平均	16.750	6	2.792	
誤差	22.250	18	1.236	
総計	39.000	24	0.000	

Table 5 一対比較による主効果の推定値(質問2)



まず質問1のC点の位置と足関節の滑らかな動きの関係については、Table 2の主効果 α_i の分散比 F_o の値から95%の確率で水準間に有意差があると認められる。すなわち条件1～3のC点の変位が、歩行時の足関節の動きの感覚に影響を及ぼしていることがわかる。組合せ効果 γ_{ij} と順序効果 δ_{ij} については分散比 F_o から有意差は認められないため、はきものの組合せや履く順序による実験結果への影響はないと考えられる。そしてTable 3の主効果のそれぞれの推定値から、足関節の動きを妨げない条件として最も好まれるC点の位置は足関節点鉛直下方より10mm以上後方であることがわかる。

同様に質問2のC点の位置と総合的な歩きやすさの関係については、Table 4の主効果 α_i の分散比 F_o の値から99%の確率で水準間に有意差があると認められる。すなわち条件1～3のC点の変位が、歩き心地に影響を及ぼしていることがわかる。組合せ効果 γ_{ij} と順序効果 δ_{ij} については分散比 F_o から有意差は認められないため、はきものの組合せや履く順序による実験結果への影響はないと考えられる。またTable 5の主効果のそれぞれの推定値から、歩きやすい条件として最も好まれるC点の位置も質問1と同様に足関節点鉛直下方より10mm以上後方であることがわかる。

また質問3の自由意見から、実験はきものの若干の不具合が確認された。上面のくぼみが深すぎる事による不安定な感覚、くぼみの縁のアールが小さい事による拇趾及び第二趾の痛み、ストラップの張りはきものによって異なり緩すぎるものや柔軟性に欠けるものがあることなどが指摘されており改良が必要である。

4. まとめ

本研究により、今回の実験用はきものが下肢負担が少なくなるための仕様を実現できていた事と、当初の仕様では不明確であった矢状面でのC点の位置を明確にすることができた。また複数被験者の歩き心地に関する評価により、実験用はきものの様々な改良必要箇所も明らかにすることができた。

今後は被験者からの意見に基づくはきものの改良と、実験回数を増やして精度を高める作業を繰り返し、より多くの人に対応でき、歩き心地に対して良い評価の得られる的確な木製はきものの仕様の確立を目指したい。

参考文献

- (1)佐藤幸志郎：木製はきものの形態と歩行時の下肢負担との関係について—人間の動作・形態特性に基づいた木製はきものの開発（第1報）—，大分県産業科学技術センター平成9年度研究報告，(1998)
- (2)河内まき子，横井孝志，渥美浩章，山下樹里，横山一也，

吉岡松太郎，小木元，堀田明裕，谷井克則，岸義樹，飯田健夫：設計のための人体計測マニュアル，(1992)，84，製品科学研究所

(3)小原二郎編：デザイン計画の調査・実験，(1969)，97，鳳山社