

MRI を利用した靴着用時における 靴のフィット性決定要因の検討

信 州 大 学 吉 田 宏 昭

Investigation into the Factors that Determine Shoe Fitting Using MRI

by

Hiroaki Yoshida
Shinshu University

ABSTRACT

It is essential to purchase suitable shoes that fit the size of users' feet in order to prevent foot injuries in daily life. Although shoe fitting significantly affects the performance of shoes, there are few studies that have either investigated the factors that control shoe fitting or established a method to evaluate shoe fitting.

While, the shape of each foot and shoe was measured to estimate shoe fitting in previous studies, the deformation of feet when wearing shoes had not been taken into consideration. Therefore, we used a Magnetic Resonance Imaging (MRI) system, which allowed us to take images of feet and to observe the deformation of feet while the shoes were being worn, and examined the factors that regulate shoe fitting in this study.

According to results of questionnaires, it is considered that subjects perceive shoe fitting on the ball of the foot. We carried out MRI imaging to research the deformation of feet when wearing shoes by utilizing cross-section images around the ball of the foot, and found that the deformation of feet in the direction of the ball height significantly influences shoe fitting in comparison with that of the foot breadth. This is because deformation in the direction of foot breadth was restricted by the shoe's upper, and

only the deformation in the direction of the ball height was allowed. Since the ball height was decreased and the foot breadth was increased while barefoot through the observation of MRI imaging, it is necessary that the deformation of feet when wearing shoes follow the deformation while barefoot. Therefore, it is important to evaluate shoe fitting around the ball of the foot in the standing position and to purchase suitable shoes that have enough room between shoes and feet, which allows feet to deform in the direction of both the ball height and the foot breadth.

要 旨

適切な靴を選ぶ際の重要なポイントの1つは、靴が足にフィットしていること、すなわち、靴のフィット性である。しかし、靴着用時における足部変形に関してあまり調査されておらず、靴のフィット性の評価方法も未だ確立されていない。そこで本研究では、靴着用時の足部変形を撮像可能なMRI装置を用いて靴着用時における靴のフィット性を決定する要因を検討した。アンケート調査により靴のフィット性を評価する部位は、ボール部周辺であることが分かった。靴着用時における足部の高さ方向の変形が足幅方向の変形よりも靴のフィット性に影響を及ぼすことが示唆された。裸足時に足部は高さ方向の厚みが減少して足幅が広がるが、靴着用時にも裸足時と同様な変形が足部に生じることが必要であると考えられる。よって、フィット性の良い靴を購入する際、立位状態で靴のフィット性を評価し、高さ方向にも幅方向にも足部変形が可能なスペースがボール部周辺に存在するような靴を選択することが重要である。

緒 言

近年、余暇にスポーツを楽しむ人が増加しており、とりわけランニングは身近なスポーツとして好まれている¹⁾。しかし一方で、ランニングは蹴り出し時や着地時に足へ衝撃がかかるために、初

心者にとって特に負担が大きいと考えられる²⁾。そこで、足への負担を軽減させ傷害を予防するためには、適切な靴選びが必要不可欠である。では、適切な靴を選ぶ際のポイントは何であろうか？その重要なポイントの1つは、靴が使用者の足にフィットしていること、すなわち、靴のフィット性である。なぜなら、靴のフィット性が悪いと、緩衝性・安定性などの他の機能が十分に発揮できないためである³⁾。靴のフィット性は使用者が実際に靴を着用して判断するものであるが、この靴のフィット性を決定する要因がまだ明確でないために、フィット性の評価方法は未だ確立されていない³⁾。もしフィット性を足部や靴の形状や特性から評価できれば、フィット性の高い靴の設計や選定に繋がると考えられる。靴のフィット性に影響を及ぼす要因は、足の形状や靴の形状などが考えられ、それらの関係を調べる必要がある。従来研究では、足形状の三次元計測と靴型の三次元計測を別々に行い、足長などの寸法差を評価指標とし、足長のゆるさなどの項目を数値化していた^{4, 5, 6)}。しかし、従来研究では足と靴を別々に計測して仮想的な空隙を計算しているだけであり、実際の靴着用時における足部と靴型の関係を調査した研究はほとんどない^{7, 8)}。そこで、靴を着用した状態でフィット性を評価するために、本研究では靴を履いた状態で足の形状や足の変形が撮像可能な核磁気共鳴画像法(MRI, magnetic resonance imaging)を用いた。フィット性に関連すると予

想されるゆるさやきつさなどの感覚は皮膚の上から力が加わり、足部が変形することにより感じ取られる。そのため、靴を履いた際の足の変形を観察できるMRIを用いれば、靴のフィット性について考察できると考えた。本研究では、MRIを使用して靴着用時の足部変形を観察し、靴のフィット性を決定する要因を検討した。

1. 方法

使用した試験靴は、市販の一般的な紐靴タイプのビジネスシューズで、アッパーの形状はUチップタイプの革靴を用いた。革靴を使用した理由は、靴着用時の足部変形に伴う靴自体の変形をなるべく抑えて、足の変形を撮像するためである。素材は牛皮革で、サイズは26.0EEE、26.5EEE、27.0EEEの3種類とした。金属を含む物体をMRIで撮像するとアーチファクト（磁場の歪みによって発生する信号の消失や歪みのこと）が発生するため、革靴のインソールとアウトソールの間の層にあった金属片を取り除いた。

1.1 靴のフィット性を感じる部位に関する調査

MRIを用いた撮像実験で評価すべき部位を特定するために、アンケート調査を実施した。まず、被験者に用意した靴を試着してもらい、最もフィットすると感じる靴を選択してもらった。その後、選んだ靴とそれ以外の靴を履き比べさせ、フィット性を感じとる足の部位に関するアンケートに回答させた。評価部位は、指周辺の部位（以後、指部）、母趾と第五趾の付け根の関節の位置とその周辺（以後、ボール部）、土踏まず周辺（以後、アーチ部）と踵周辺（以後、踵部）の4箇所とした。アンケートの回答は複数選択可能とした。被験者は信州大学の男子大学生10名（22～25歳）とした。また、MRI撮像を行うための被験者を選定するため、AIST人体寸法データベースの測定方法を参照し、右足の人体寸法を採取した。計測部位は、足長-直接（図1-1）、足幅-斜め（図1-2）、足背高（図1-3）、ボール高（図1-4）の4カ所とした⁹⁾。

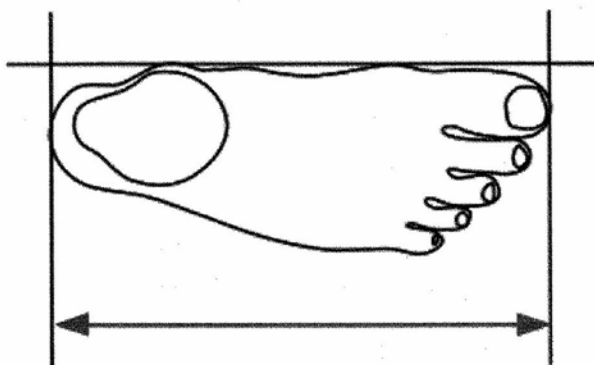


図1-1 人体寸法計測部位（足長-直接）⁹⁾

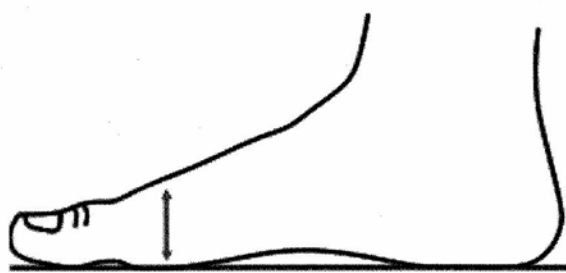


図1-3 人体寸法計測部位（足背高）⁹⁾

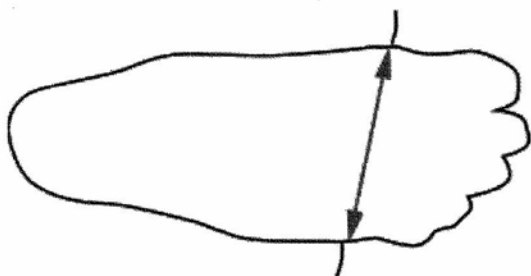


図1-2 人体寸法計測部位（足幅-斜め）⁹⁾

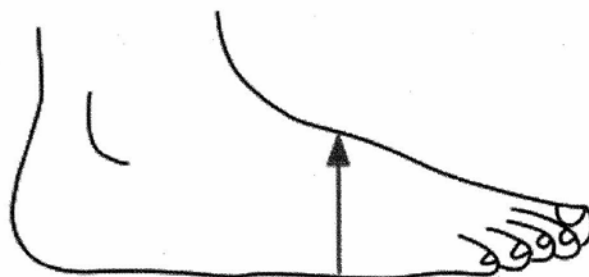


図1-4 人体寸法計測部位（ボール高）⁹⁾

1.2 足部のMRI撮像と3次元足部モデル作成

MRI装置はSIEMENS社製Sonata（京都大学再生医科学研究所にて実施）で、撮像シーケンスはスピンエコー法の一つであるFLASH_VIBE_3Dであった。MRI撮像は物体が保有する水分子のもつプロトンの出す信号を受信し、その物体の画像化を行う¹⁰⁾。人体は水分を多く保有するので足部の画像化は比較的容易である。本研究では、靴を着用した際の足部の変形を観察するために、被験者が最もフィットすると感じる靴を着用した場合と裸足という2条件に対して、立位を模した荷重がある状態と荷重のない状態を組み合わせた計4条件でMRI撮像した。被験者の姿勢は側臥位とし、右足を撮像した。側臥位でも立位を模した荷重をかけられるように、アクリル板を加工し簡単な装置を製作した。その装置に足と靴を固定しゴムバンドと布製のベルトを組み合わせ、肩にかけ、アクリル板を踏ん張り、荷重をかけられるように加工した。その際の荷重は約10kgfに統制した。MRIで撮像された足部の画像は、足の内側から外側までの112枚からなる二次元スライス画像で構成されていた。それらの画像を画像処理ソフトウェアAdobe Photoshop CS3によって骨の部分を黒色に、その他の組織を白色に、背景は黒く塗りつぶして二値化し、三次元再構築ソフト3D Slicerと視覚化ソフトPara viewを用いて足部の3次元モデルを作成した。本実験は、信州大学の倫理委員会の承認を得て実施した。

1.3 靴のフィット性に関する官能評価

1.1と同様の男子大学生10名に対して、MRIで撮像した足部の変形と主観的なフィット性を比較するために官能検査を行った。足の指部、ボール部、アーチ部と踵部の4部位において、「きつい」「ややきつい」「フィットしている」「ややゆるい」「ゆるい」の5段階で靴着用時のフィット性に

いて評価させた。評価する際の姿勢は、着座・立位・歩行の3条件とした。着座では背もたれのある椅子に腰かける、立位では靴を着用して立つか被験者がその場で足を動かす程度の動きをする、歩行は100mほど歩行する、のように指示して靴のフィット性を評価させた。その際、着座と立位はMRI撮像における荷重なし状態と荷重あり状態を想定し対応付けている。

2. 結果

2.1 靴のフィット性を感じる部位に関する調査結果

10名の被験者が靴を着用した際にフィット性を感じ取る部分として最も多かった回答はボール部であった（10名中9名）。他の部位では、指部は10名中6名、踵部は10名中5名、アーチ部は一番少なく10名中2名であった。よって、MRI撮像における評価部位はボール部とした。

次に採取した足部の人体寸法であるが、ボール部の大きさに関係のあるボール高と、その幅の大きさを表す足幅の関係を図2に示す。横軸が足幅、縦軸がボール高を示しており、●は各被験者の寸法値、▲は人体寸法データベースの平均値である⁹⁾。

また、他の被験者に比べて特徴的な寸法値を示した3名をMRI撮像実験の被験者とした（図2の○で囲んだ3名）。表1に3名の被験者の足部寸法値と選んだ靴サイズを示す。3名の被験者の

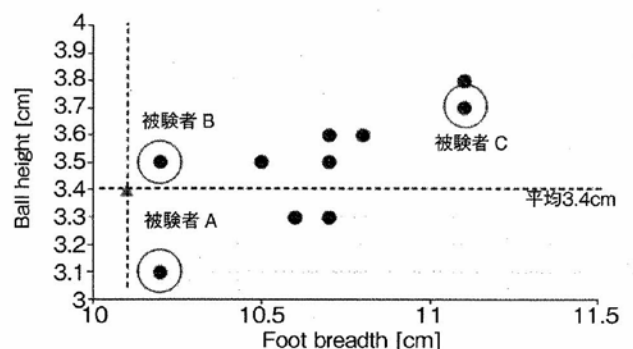


図2 被験者の足長とボール高との関係

表1 3名の被験者の人体寸法値と靴サイズ
(単位: cm)

| 被験者 | 足背高 | 足幅 | ボール高 | 足長 | 靴サイズ |
|-------|-----|------|------|------|------|
| 被験者 A | 6.7 | 10.2 | 3.1 | 26 | 26 |
| 被験者 B | 6.5 | 10.2 | 3.5 | 27.2 | 26.5 |
| 被験者 C | 6.3 | 11.1 | 3.7 | 26.7 | 27 |

足の特徴を簡単に述べると、被験者 A は足長が短くて足幅やボール高も小さく、被験者 B は足幅が狭くボール高はやや高めめの細長い足で、被験者 C は太くて分厚い足であった。

2.2 足部のMRI 撮像とボール部における変形の結果

図3に被験者Cの3次元再構築された足部モデルを示す。

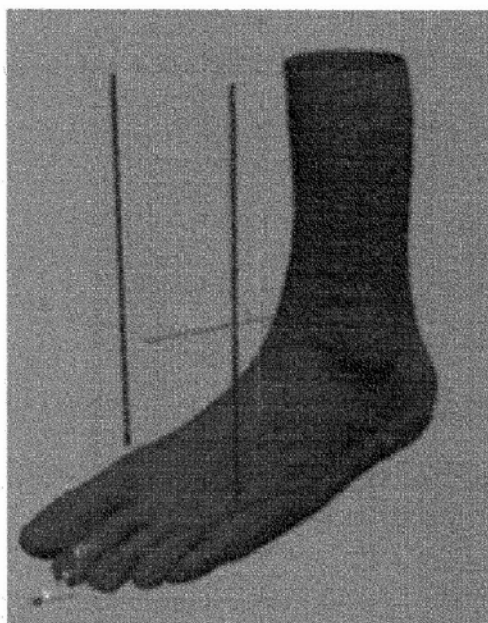


図3 MRI撮像から再構築された足部3次元モデル

作成した足部モデルの脛側中足点と腓側中足点に位置する骨にマーカーを付け、それらを通り地面に垂直な断面で切断することによって、ボール部の断面図を作成した。図4-1に被験者A、図4-2に被験者B、図4-3に被験者CのMRI撮像時の4条件におけるボール部断面図を示す。

全ての被験者で観察されることだが、裸足で無荷重時における足のアーチの頂点は第1趾と第2趾の間に位置しているが、靴着用で無荷重状態で

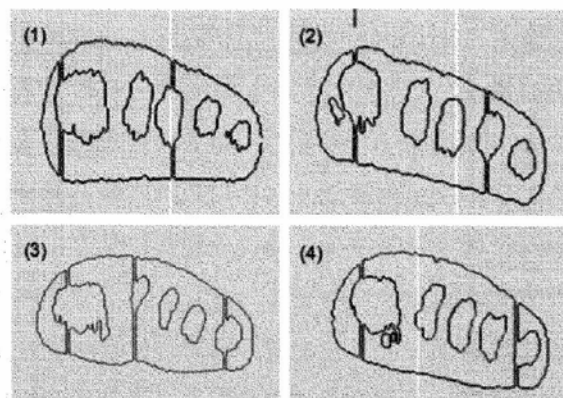


図4-1 被験者Aのボール部における断面図
(1) 裸足・荷重無、 (2) 裸足・荷重有
(3) 靴着用・荷重無、 (4) 靴着用・荷重有

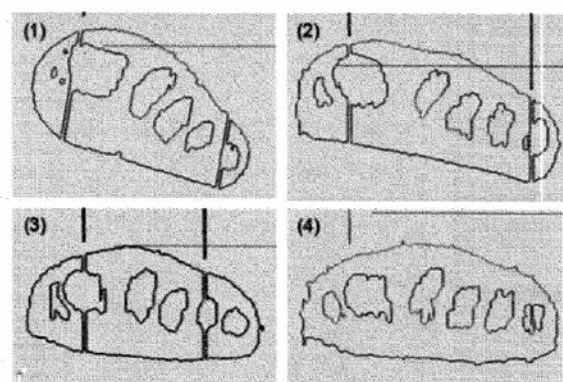


図4-2 被験者Bのボール部における断面図
(1) 裸足・荷重無、 (2) 裸足・荷重有
(3) 靴着用・荷重無、 (4) 靴着用・荷重有

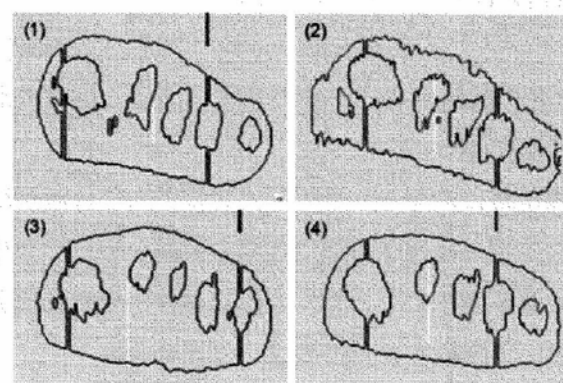


図4-3 被験者Cのボール部における断面図
(1) 裸足・荷重無、 (2) 裸足・荷重有
(3) 靴着用・荷重無、 (4) 靴着用・荷重有

は第2趾の上に頂点が見られる。また裸足において、無荷重時と比較して有荷重時では足の厚みが無くなり全体的に扁平になっている。

各条件での足部の変形を詳細に調査するために、ボール部断面に着目し、裸足で無荷重時の高

さと幅の寸法を1とした際の、他の3条件における被験者ごとのボール高と足幅の寸法比率を算出した(表2)。以下に足の寸法比率の求め方を説明する。足底をまず特定し、足底の輪郭線に接触するように下底線を引く。次に足の内側と外側の輪郭線に各々接触するように下底線に垂直に交わる縦方向の線分を2本引く。さらに、その2本の線分に垂直に交わり、足背の輪郭線に接触するような下底線に平行な上底線を引き、長方形を描いた。それらの交点座標を求め、ボール部断面の高さと幅の寸法値を導き出した。それらの数値を裸足時の高さや足幅寸法値で割った値を寸法比率とした。

表2 各被験者のボール部断面における高さや足幅の寸法比率

| | 荷重条件 | 高さ | 幅 |
|-------|--------|------|------|
| 被験者 A | 裸足_荷重無 | 1.00 | 1.00 |
| | 裸足_荷重有 | 0.89 | 1.08 |
| | 靴_荷重無 | 0.98 | 1.02 |
| | 靴_荷重有 | 0.95 | 1.08 |
| 被験者 B | 裸足_荷重無 | 1.00 | 1.00 |
| | 裸足_荷重有 | 0.89 | 1.11 |
| | 靴_荷重無 | 0.93 | 1.11 |
| | 靴_荷重有 | 0.86 | 1.11 |
| 被験者 C | 裸足_荷重無 | 1.00 | 1.00 |
| | 裸足_荷重有 | 0.94 | 1.15 |
| | 靴_荷重無 | 1.08 | 0.98 |
| | 靴_荷重有 | 0.94 | 0.99 |

3名の被験者のボール部断面における足部変形に関して述べる。

裸足時に荷重をかけると、足幅方向には幅が増加し、ボール高さ方向には厚みが減少して、全体的に若干扁平になった。この傾向は全ての被験者において観察された(表2の裸足条件)。

しかし、靴着用時では各被験者でボール断面における変形状態が異なっていた。被験者Aは靴を着用すると、足幅方向に少し広がり、ボール高さ方向には少し厚みが減った。次に荷重をかけると、足幅方向にさらに広がり、高さ方向にはさらに若干厚みが減少した(表2の被験者A)。被験者Bは靴を着用すると、足幅方向に少し広がり、高さ方向の厚みが減った。次に荷重をかけると、

足幅方向には幅の変化はないが、高さ方向に若干厚みが減った(表2の被験者B)。被験者Cは靴を着用すると、足幅方向に若干幅が狭くなるが、高さ方向の変位は他の2名と異なって厚みが増した。次に荷重をかけると、足幅はほとんど変化せず、高さ方向の厚みが減った(表2の被験者C)。

2.3 靴のフィット性に関する官能評価の結果

官能評価の被験者10名の平均評定点を図5に示す。縦軸が平均評定点で、プラスだと「ゆるく」、マイナスだと「きつく」、ゼロに近いほど「フィットしている」ことを示している。指部とアーチ部は全ての評価姿勢で「フィットしている」に近い評価であった。ボール部は着座と歩行では「きつい」と感じ、立位では比較的「フィットしている」傾向だった。踵部では全般的に「ゆるい」と感じていた。

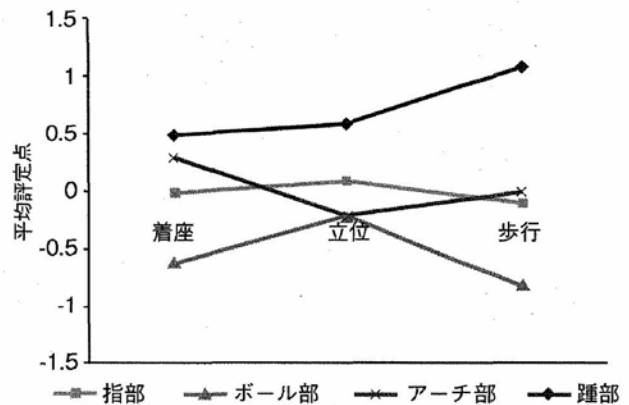


図5 足各部における靴のフィット性に関する平均評定点

表3-1、表3-2、表3-3は着座、立位、歩行時における3名の被験者の靴のフィット性に関する評定点の結果である。プラスだと「ゆるく」、マイナスだと「きつく」、ゼロに近いほど「フィットしている」ことを示している。どの被験者においても、評価する姿勢が異なると、靴のフィット性の評点に変化している。ボール部に着目してみると、被験者Aは「フィットしている」あるいは「き

表 3-1 着座時における各被験者の
フィット性に関する評定点

| 被験者 | 指部 | ボール部 | アーチ部 | 踵部 |
|-------|----|------|------|----|
| 被験者 A | 0 | -1 | 0 | 1 |
| 被験者 B | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 被験者 C | -1 | -1 | 0 | 0 |

表 3-2 立位時における各被験者の
フィット性に関する評定点

| 被験者 | 指部 | ボール部 | アーチ部 | 踵部 |
|-------|----|------|------|----|
| 被験者 A | 1 | 0 | -1 | 1 |
| 被験者 B | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 被験者 C | 0 | -1 | -2 | 1 |

表 3-3 歩行時における各被験者の
フィット性に関する評定点

| 被験者 | 指部 | ボール部 | アーチ部 | 踵部 |
|-------|----|------|------|----|
| 被験者 A | 0 | -1 | 0 | 1 |
| 被験者 B | -1 | -1 | 1 | 1 |
| 被験者 C | -1 | -2 | -2 | 2 |

つい], 被験者 B は「フィットしている」, 被験者 C は「きつい」という評価をしている。また, どの被験者も踵部では「ゆるい」と評価する傾向があった。

3. 考 察

図 4-1, 図 4-2, 図 4-3 のボール部断面における足部変形の結果から, 裸足で無荷重時における足のアーチの頂点は第 1 趾と第 2 趾の間に位置しているが, 靴着用時の無荷重状態では第 2 趾の上にアーチの頂点が見られる。また, 表 2 から確認されるように, 裸足で無荷重状態から有荷重状態になると足の厚みが減少し, 全体的に扁平になっている。しかし, 靴着用時には靴の制限により足幅方向には変形できていない。よって, 足形状は靴着用により大きく影響を受けていることがわかる。

官能検査の結果においてボール部に着目すると, 被験者 A は着座では「ややきつい」であったが, 立位では評価が良くなった (表 3-1)。表 1 から被験者 A は足幅とボール高が小さいため, 靴着用時に荷重をかけて足幅が増加しても靴のアップ

パーにあまり接触せずに圧迫が加わりにくく, 靴と足の間にスペースがあり「きつい」とは感じにくいと考えられる。表 2 の被験者 A の足部の寸法比率から, 靴着用時に荷重をかけると, ボール部では高さ方向にも幅方向にも足部が変形していることが確認できる。つまり, 靴着用時でも足が高さ方向にも幅方向にも広がる余地があるため, 荷重をかけることで逆に靴のフィット性が良くなったと推測される。

被験者 B は着座と立位ともに「フィットしている」と感じており, 良い評価であった (表 3-2)。図 2 から推測すると, 被験者 B はボール高が平均より高めのため, 靴を着用しただけで靴のアップパーから若干圧迫を受けており, 高さ方向に厚みが減少し幅方向に広がっている。しかし, 表 1 より被験者 B の足長は被験者 A より長い, 他の寸法は被験者 A と同程度でありながら, 靴サイズは被験者 A よりも大きいサイズを選んでいた。よって, 高さ方向は若干きついと推測されるが, それでも靴サイズが大きいために足と靴の間に足部が変形できるスペースが十分存在していたと考えられる (表 2)。そのため, ボール部では「フィットしている」と感じていたが, 靴サイズが大きいためにアーチ部では着座時にやや「ゆるい」と評価していた (表 3-2)。続いて靴着用状態で荷重をかけた時, ボール部の足幅方向には足部は変形できていないが, 高さ方向に足部が変形できているため (表 2), 「フィットしている」と評価したと推測される。よって, 靴着用時に高さ方向に足部が変形できることが靴のフィット性に寄与していると考えられる。

被験者 C のボール高さ方向の変形は他の 2 名の被験者とは異なり, 靴を着用するだけで高さ方向の寸法比率が増加して厚みが増していた (表 2)。つまり, 被験者 C は足幅が広いので靴の制限によって足幅方向には変形できず, 靴を着用した際に足部は高さ方向に変形せざるを得なかった

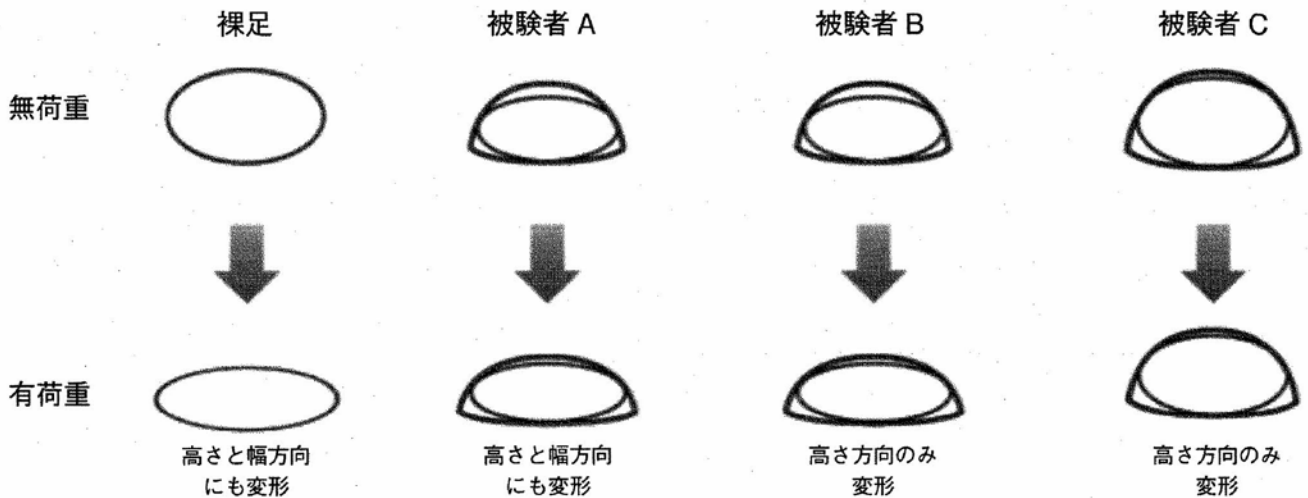


図6 各被験者のボール部断面における足部変形

と推測される。その結果、被験者Cは立位時では唯一「ややきつい」と回答したと考えられる。また、表1より被験者Cの足部形状は他の被験者に比べて大きく幅広で厚いが、足長は被験者Bよりも短い。被験者Cは最も大きい靴を選択しているが、歩行することによって靴の中で足が圧迫され「きつい」と感じているものの、足長が短いために靴内部の前後のスペースが空いており、足が靴内部で滑って踵にスペースができて靴のフィット性を悪く感じる結果になったと推測される。その結果、官能評価でボール部は「きつい」、踵部は「ゆるい」と感じると予測され、表3-3の官能検査の結果でも予測通りの結果となっている。被験者Cはよりアッパーソールの位置が高く、幅が広くかつ靴の長さが短い靴を選んだ方がよりフィット性が高くなると考えられる。

裸足状態で荷重をかけた時のボール部断面における足部変形において高さ方向が減少し足幅方向が増加するという変形を理想的な変形と仮定した場合、被験者Aは靴着用時に有荷重状態でも裸足状態と同様に變形しており、理想的な変形に近いといえる。被験者Bでは靴着用時の有荷重状態における高さ方向の変化は理想的だが、幅方向の変化はほとんど観察されなかった。被験者Cは足幅が太いために、靴を着用しただけで高さ方

向に厚みが増加せざるを得ない状態で、足部に荷重がかかり、高さ方向に足は変形できても、足幅方向には変形できなかった。よって靴着用時に、裸足状態の足部変形と同じような変形が可能なゆとりやスペースを足と靴の間にもたせることが重要であると考えられる。まとめとして図6にMRI撮像による各被験者のボール部断面における足部変形の模式図を示す。

また、表3-1、表3-2、表3-3の靴のフィット性に関する各被験者の評定点であるが、どの被験者においてもボール部に着目してみると、評価姿勢が異なると評点の変動している。つまり、靴のフィット性は評価姿勢に依存していることが分かる。では、どの姿勢がフィット性評価に適しているのだろうか。上述した考察から、靴のフィット性を評価するには靴着用時に足部が変形することが必要である。着座状態だと、足部に荷重があまりかからず、靴の中で足部がほとんど変形しないため、靴のフィット性を評価することはできないと考えられる。立位状態だと、足部に荷重がかかって足部が変形するので、靴のフィット性を評価しやすいといえる。歩行状態も立位状態と同様に、足部が変形するのでフィット性を評価しやすい姿勢であるといえるが、歩行動作時の足と靴とのずれによって踵部が立位時よりゆるいと感じてしま

う可能性がある。よって、靴のフィット性を評価するのに適している評価姿勢は、その場歩きを含めた立位状態であると考えられる。

本研究にはいくつかの課題がある。まず、MRI撮像した被験者は3名しかおらず、また、官能検査を実施した被験者も10名であった。今後、様々なタイプの足形状を有する被験者数を募ってMRI撮像を行い、靴着用時の足部変形について詳細に調査する必要がある。また、MRI撮像時の姿勢が側臥位であったため、荷重として約10kgfしかかけることができなかった。将来的には実際の立位時に近い荷重をかけられるような撮像環境を作る必要がある。さらに、本研究では靴は革靴の1種類のみであった。ウォーキングシューズなどの様々な靴を着用した際の足部変形についても検討する必要があるだろう。

今後の展望として、本研究で作成した三次元足部モデルを用いて数値モデルを作成し、力学的な数値シミュレーションを行うことが考えられる。人間は靴を着用した際に生体内に生じる変形やそれに起因する生体内応力を感覚器を通して履き心地として感じ取っている。数値シミュレーションは生体内に発生する変形や応力を推定できる有効なツールの一つである^{11,12)}。シミュレーションによって足内部にかかる変形や応力を求めることにより、生体内応力と履き心地の関係を求めることができ、例えば、フィットしていない靴を着用することによる足への負担を数量的に提示することが可能である。また、数値として足への負荷を可視化することで足にフィットする靴を選ぶことの重要性を訴えかけ、靴や足のトラブルが軽減されることが期待できる。

4. まとめ

本研究では、MRI撮像によって靴着用時の足部変形を観察することができた。靴のフィット性を評価する部位は、母趾と第五趾の付け根の関節

の位置とその周辺であるボール部であることが分かった。靴着用時におけるボール部の高さ方向の変形が足幅方向の変形よりも靴のフィット性に影響を及ぼすことが示唆された。また、裸足時に足部は高さ方向の厚みが減少して足幅が広がるが、靴着用時にも裸足時と同様な変形が足部に生じることが必要であると考えられる。よって、フィット性の良い靴を購入する際、立位状態で靴のフィット性を評価し、高さ方向にも足幅方向にも足部変形が可能なスペースがボール部周辺に存在するような靴を選択することが重要である。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 公益財団法人 日本生産性本部, レジャー白書 2011 進むレジャーの「デジタル」化.(2011)
- 2) Woo Sock Heng, 宇治橋貞幸, 伊能教夫, ランニング・シューズの力学特性の計測と評価法. 日本機械学会論文集(C編), 64(623), 2395-2402(1998)
- 3) 西脇剛史, スポーツシューズの発現機能. 繊維製品消費科学会誌, 46(5), 292-296(2005)
- 4) 河内まき子, 堤江美子, 靴着用を想定したときの足型3次元形状の変化(1部形態と運動の計測). バイオメカニズム, 11, 13-22(1992)
- 5) 持丸正明, 河内まき子, 福井幸男, 堤江美子, FFD法による形態間距離に基づく足部三次元形態の特徴分類. 人間工学, 33(4), 229-234(1997)
- 6) 持丸正明, 人体形状の変異と産業応用. バイオメカニズム学会誌, 29(2), 90-94(2005)
- 7) I.R. Spears, J.E. Miller-Young, J. Sharma, R.F. Ker, F.W. Smith, The potential influence of the heel counter on internal stress during static standing: A combined finite element and positional MRI investigation. *Journal of Biomechanics*, 40, 2774-2780(2007)
- 8) Marc Peter, Ahmet Erdemir, Peter R. Cavanagh: An MRI-compatible foot-loading device for

- assessment of internal tissue deformation. *Journal of Biomechanics*, **41**, 470-474 (2008)
- 9) AIST人体寸法データベース <http://riodb.ibase.aist.go.jp/dhbodydb/91-92/data/search.html>
- 10) レイ H ハシエミ, ウィリアム G. ブラッドリー, Jr, クリストファー J. リサンチ, 荒木力監訳, 『MRI の基本パワーテキスト第 2 版』. メディカル・サイエンス・インターナショナル, (2004)
- 11) 山口穂高, 吉田宏昭, 上條正義, 松本泰幸, 有限要素解析を用いた鉄道車両用シートの座り心地に関する研究. 日本感性工学会論文誌, **11** (4), 519-525 (2012)
- 12) Hiroaki Yoshida, Masayoshi Kamijo, Yoshio Shimizu, A Study to Investigate the Sleeping Comfort of Mattress using Finite Element Method. *Kansei Engineering International Journal, SPECIAL ISSUE: Brain Science and its Related Research Fields*, **11** (3), 155-162 (2012)