

靴内気候とこれに影響をおよぼす諸因子の検討

Effects of some Hydrodynamics Factors in the Microclimate inside the Shoes

小林 正典*

Masanori Kobayashi

Summary

It is important to control the microclimate (temperature and the humidity) inside shoes in order to prevent the some skin disease like a ringworm and the uncomfortable feeling during wearing shoes.

The present study investigated the effects of some mechanical hydrodynamic factors in the microclimate, especially the humidity, inside shoes on wearing by demonstrative experiment for a total of 15 pairs of young subjects.

The results showed that the humidity distribution in shoes was almost constant in all foot area and all measurement term, independent on the change of the space between the foot and shoe, which suggested that no hydrodynamics mechanism including air ventilation or circulation operated in shoe. On the other hand, the temperature and humidity inside the shoe was decided on the insensible water loss from barefoot, and affected by the wearing time.

For the improvement of microclimate inside shoes, the discussion about the other factor such as the shoes structure, design, materials and under socks might be necessary.

キーワード：靴内気候，湿度，実証実験，足底板，流体力学的要素

Keywords : Microclimate inside the Shoe, Humidity, Demonstrative experiment, Foot insole, Hydrodynamics Factor

1. 序論

靴は、足部の防寒や保護、装飾などの役割を持つ装具の一つであり、古来より様々な形や機能のものが生み出され使用されてきた。現代においても、衣類同様、最も身近なもので、多くの身体形状・目的に合わせた機能、デザインの靴が開発、販売されている。このような長い靴の歴史の中でも、靴内の蒸れ・湿気の問題は絶えず課題として取り上げられてきている。近年、健康志向の中で、靴の機能性について関心もたれつ

つあり、靴の機能性評価や着用快適性に関しても注目されるようになってきている。また寒冷地や日本のような高温多湿な環境、欧米人のように常時靴を履いている習慣の下では、閉塞性の靴内は著しく高温多湿になりやすく¹⁾、単に悪臭などだけでなく、白癬等の感染や血管病変の発症等の医学的問題も起こりうる²⁾。

このような靴内の環境に関する研究する研究が進んできている³⁻⁶⁾が、未だ機械工学からのアプローチ、特に流体の場としての研究はあまり報告されていない⁷⁾。

実際、靴内での足との間の空間は流体の問題を考え

* 工学部総合機械工学科

るには非常に小さく、歩行や運動時の靴と足部の動きは複雑である。さらに靴の材質、構造、形状による要素もあり、解析は非常に困難と推測される。そこで今回我々は、靴内気候に関する機械工学的アプローチの基礎研究として、被験者を用いた実証実験による靴内環境の湿度分布の計測を行い、いくつかの簡単な要素について、その影響を調べることにした。

具体的には、本実験では、靴内気候に影響を及ぼす流体工学的要因として、

- a) 足自体からの不感蒸泄
- b) 足のサイズと靴内の密閉度
- c) 歩行時間（靴の連続装着時間）

の3項目について着目し足底板の有無や剛性の違い、湿源がない場合での靴内気候を測定することで、足底板が靴内気候に与える影響を明確にする。それにより、足底板を使用したときの課題を克服するための解決法を見つける指針と成り、また新たな科学的見地から靴内気候を考えた足底板や靴などの開発等に繋げる。

2. 実験方法

2.1 実験材料と装置

2.1.1 靴

実験に使用した靴を図1に示す。写真から分かるように、測定用のφ10mmの穴が靴の片方に、つま先内側を①、つま先外側を②、内側アーチ部周辺を③、外側アーチ部周辺を④、外踝周辺を⑤とした5箇所に開けてある。穴は左右対称にもう片方の靴にも開けてあり、番号も同じく対応し、両足で計10箇所の同様の穴がある。第1章1.2で述べたように積雪のある地域の人が履く靴を想定し、靴は完全防水仕様であり、この様な踝まで覆う比較的高さのあるハイカットの靴を使用した。



Fig.1 The shoes for experimental specimen

2.1.2 被験者

被験者は足に持病の持たない20歳から22歳の男子、15人を測定した。実証実験を開始するにあたり、被験者全員には実験の目的・内容・問題点について十分に説明し、本人から実験参加の同意を得た。

被験者は1人につき4種類すべての条件を受け持った。靴に関しては、同じ種類の靴でサイズを複数用意してあるが、同一の被験者では1度目と2度目の測定で同じサイズの使用とした。

2.1.3 足底板

実験条件として、靴および足とサイズの違いによる靴内の密着度を再現するために、2種類の足底板の装着を行った。足底板は剛性の違う2種類のものを使用した。(図2)剛性の違いによる歩行時の靴内空間の差からの靴内気候の影響を観察する目的とした。

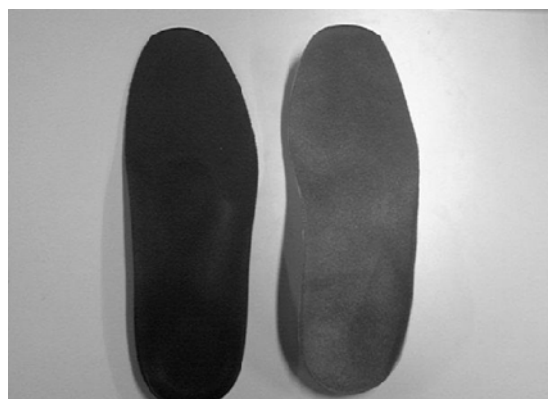


Fig.2 Two kinds of insole for the experiment

2.1.4 測定機器

測定器には小型センサを持った(株)佐藤計量器製作所 デジタル温湿度計 SK-110TRH IIを使用した。測

定範囲は湿度：20.0~98.0%rh (at23℃) で、分解能は、湿度：0.1%rh (15%rh 以上) である。

2.2 測定条件

2.2.1 各種測定条件とその目的

本実験では、靴内気候に影響を及ぼす要因として、

- a) 足自体からの不感蒸泄
- b) 足の形状と靴内の密閉度
- c) 歩行時間 (靴の連続装着時間)

の3項目について着目し、以下のような測定条件をたてた。

まず、実験は、被験者1人につき、素足・拘束無し(コントロール1)、ラップを足に巻きつけたもの(コントロール2)剛性の高い足底板(足底板1)、剛性の低い足底板の(足底板2)を装着したものの4種類の条件を設定した。

a) に関する情報を得るために、コントロール1とコントロール2(ラップを足に巻きつけたもの)を比較できるようにした。

b) の靴内での足の密着度を再現するために、2種類の足底板の装着を行った。コントロール1(インソールなし)との比較、また剛性の異なる足底板の使用による靴内の通気性の違いを調べることにした。

c) の影響をみるために、測定時間は5時間とし、靴を履いてから0, 1, 2, 3, 4, 5時間での靴内の湿度を測定した。

以上の条件で測定した温湿度を比較することで、靴内気候に影響を及ぼす因子の同定を行うこととした。

2.2 測定方法

2.2.1 靴内の温湿度の測定

1回の実験において被験者は5時間の靴の着用をした。一度の測定で靴に開けた穴の10カ所すべてに温湿度計のセンサ部を差込み、湿度を一定時間ごとに測定した。実験の5時間の間、靴の着脱は禁止し、計測時以外は、測定用に靴に開けた穴を密閉し、また計測時でも計測する箇所以外の穴は密閉することにより、外気との通気を遮断し通常の靴内の湿度に極力近いものとした。片足で1つの条件を測定し、1度目の実験で両足2種類ずつを測定、2度目の実験で残り2種類の測定を行った。

2.2.2 装着時間および歩数の測定

被験者に万歩計を装着し、一定時間ごとに靴内の温湿度を計測する時と同時に、実験開始からの通算の歩数を計測した。万歩計を被験者に装着し歩数を計測することで、運動量による靴内気候の影響、足及び足裏部の動きによる影響も観察、考慮することとした。ま

た、被験者別に歩数をある程度管理することでデータとしての歩数の多少が偏らないようにした。

3. 結果

3.1 要因aおよびbに対する湿度変化の結果

前期足の部位①~⑤全体の平均における各条件での湿度変化のグラフを図3(a)に示す。湿度は、コントロール2で湿度の絶対値も著明に低く、時間による影響も全く見られなかった。それ以外の条件(コントロール1, 足底板1, 2)の間にほとんど変化は見られなかった。相関係数もいずれも1に極めて近い値となった。

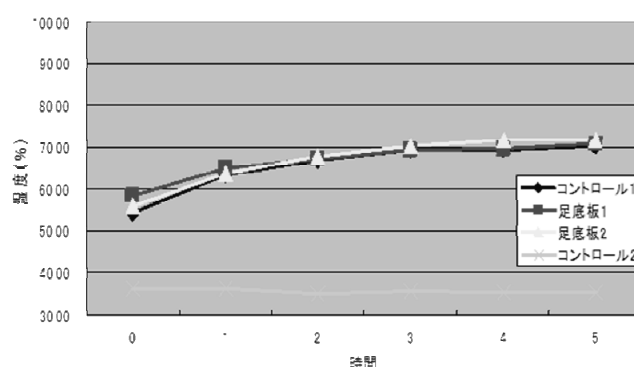


Fig. 3 (a) The correlation between the mean humidity in shoes and the mean time of putting on shoes

足の部位①~⑤それぞれの湿度変化の相違もあまりみられなかったが、唯一③内側アーチ部周辺(土踏まず内側周辺)のみ装着時間が長くなるにつれ、条件コントロール1と足底板1, 2ごとに差が現れ、有意差も認められた(図3(b))。

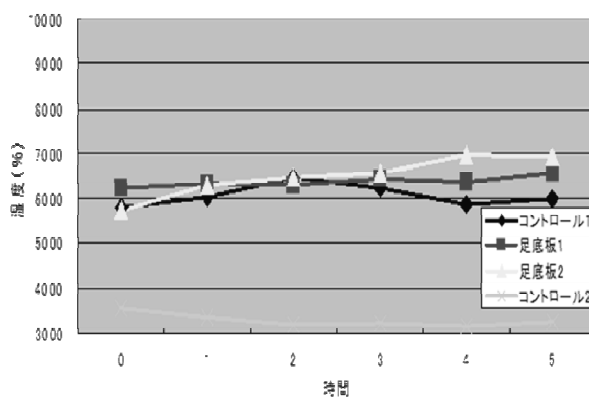


Fig. 3(b) The correlation between the mean humidity in medial arch part of foot in shoes and the time of putting on shoes

同じ条件での足の部位別での湿度変化のグラフ例を図4に示す。素足（無拘束）状態のコントロール1では、内側アーチ部周辺③と外側アーチ部周辺④の湿度は時間が経つにつれ近似していき、最後の2時間では相関関数が1となったが（図4(a)）、足底板1、2（靴との密着状態）条件では両者に近似の傾向は見られなかった（図4(b)）。コントロール2（ラップ密封）では、前足部で湿度がやや高い傾向にあったが、いずれも湿度はかなり低い値となっている（図4(c)）。

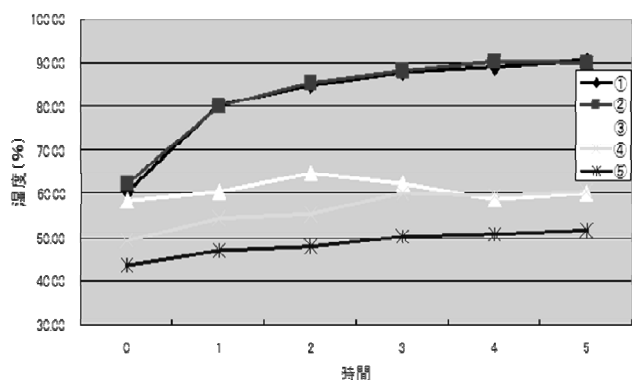


Fig. 4(a) The correlation between the mean humidity in shoes and the time of putting on shoes (in Control -1)

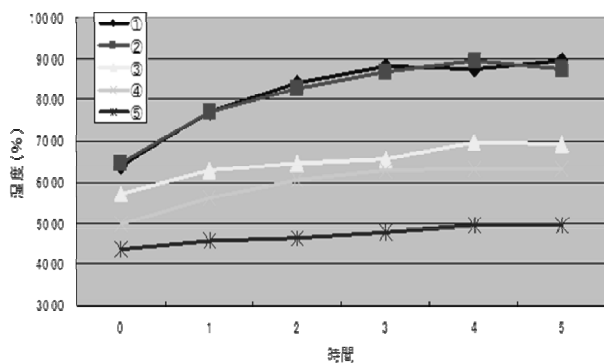


Fig. 4(b) The correlation between the mean humidity in shoes and the time of putting on shoes (with insole)

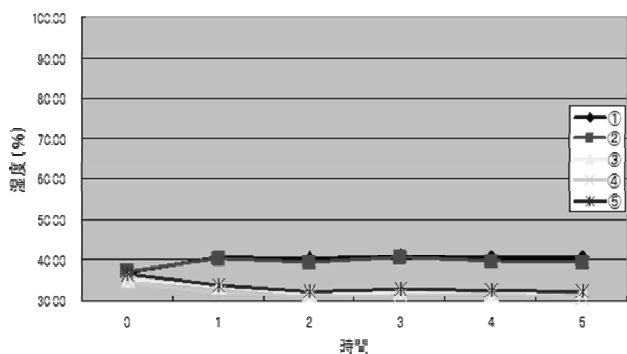


Fig. 4(c) The correlation between the mean humidity in shoes and the time of putting on shoes (in Control -2)

3.3 要因cについての湿度変化

歩数ごとの湿度平均の一例を図5(a)に示す。靴内の蒸れやすさには個人差からくるばらつきがみられ、一元分散分析法を用いた解析結果では、歩数と湿度の間に有意差が見られなかった。ただ、⑤外踝については一元分散分析法より、有意差がみとめられた（図5(b)）。

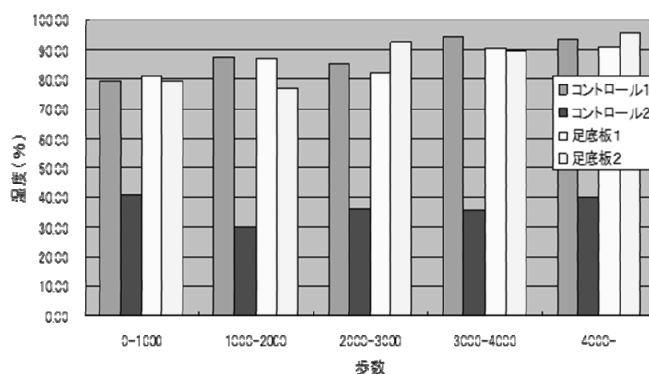


Fig. 5(a) The correlation between the mean humidity in shoes and the number of walking steps

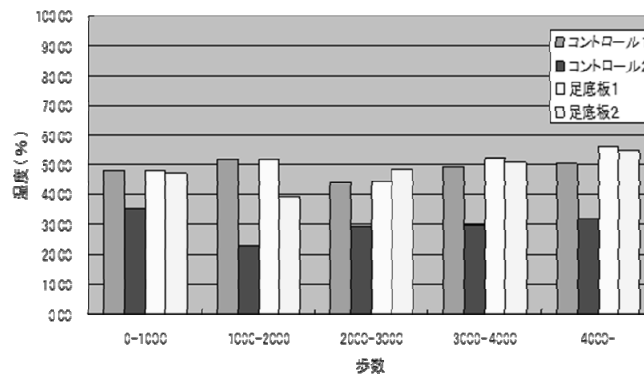


Fig. 5(b) The correlation between the mean humidity in shoes and the number of walking steps in lateral malleolus

4. 考察

4.1 要因a) 足自体からの不感蒸泄の影響について

まず、足全体の湿度の計測値から見ると、今回の実験での湿度分布の結果は、過去の岩崎による足部蒸散量の分布報告⁸⁾とほぼ同様の結果であった。

皮膚からの不感蒸泄をブロックしたコントロール 2 では、全ての条件や部位において湿度が顕著に低くなっている。このことより、靴内での気候、特に湿度に関しては足からの影響が絶対的に重要であることが確認された。

4.2 要因 b) 足の形状と靴内の密閉度の影響

足と靴との密着状態を再現した足底板装着での靴内の平均湿度への影響について見ると、素足（コントロール 1）も含めて、大きな違いは認められなかった。このことは、靴と足との間で確保されるスペースを介しての換気よりも、足表面からの蒸泄による湿気形成の影響の方がはるかに大きいということを示唆している。しかし部位別でみるとスペースの比較的大きいアーチ部周辺にあたる③、④においてコントロール 1 との違いがみられた。特に時間が経過した時にその違いが顕著に表れたが、足底板 1&2 では最後までこの変化は見られなかった。このことから土踏まずのある内側と外側アーチ部では、ある程度の空気の流れが考えられ、市販の各種インソールやアーチサポートの装具を使用することは、この部での空気の循環を遮断する危険性が考えられる。

また足の部位での湿度の相違について考察すると、靴内の湿度は、条件コントロール 1、足底板 1&2 いずれにおいても、前足部①②が一番高く、次いで両側アーチ部③④が中間値を示し、外踝部⑤が最も低いという傾向はほとんど変わらないと言う結果になった。

外踝での湿度が低いのは靴からの空気の入出口に近く、比較的換気されやすいためと考えられ、逆につま先①②での湿度が高いのは、ここで空気が最もうっ滞しているためと考えられた。高温多湿の環境下で発症が高まる足白癬が、この部で好発するという臨床データも、この部位の空気循環の悪化を裏付けていると言える。③、④の部位の湿度がこの中間値であるのは、足の土踏まずの構造から、空間が少し確保されているためと考えられた。いずれの部位でも、外側と内側との値の差はあまり大きくなかった。以上の傾向は、靴と足との間隙の形態から推測可能で、通常の靴内部では気体の循環や換気はほとんどなされていないものと推測される。

一方、足底板 1 と足底板 2 の剛性の違いによる湿度の違いはあまり見出せなかった。ただ③内側アーチ部のみで低湿度を示しており、この③の土踏まず部で湿度が、歩行や走行時に足底板の形状が変化することで、僅かながらも空気の流れが形成されている可能性が考えられた。一方、今回被験者はいずれの健全な足の形状の持ち主であったが、扁平足などの場合には、

逆にアーチ部分の通気が遮断されることも考えられる

4.3 要因 c) 歩行時間（靴の連続装着時間）の影響について

歩数別の湿度測定から、⑤以外では、装着時間や歩数と湿度の間に有意差は認められなかったものの、装着時間が長くなるにつれて湿度が高くなる傾向が認められた。静止時での不感蒸泄、同程度の運動による発汗量での個人差が現れることが予想され、また運動の質や運動後の経過時間も靴内の湿度に影響すると思われる。

4.4 結語

今回の実験結果からは、靴内気候、特に湿度環境に関しては、足部の運動や足と靴との空間を介しての流体力学的要素よりも、足部からの不感蒸泄による湿気発生の要素の方がはるかに大きいことが確認された。今後は、靴内気候についてより詳しく研究するために、足の形状や靴の材質の違いをも考慮した実験系で、足底部への圧力分布、接触面積なども計測しながら、より詳細なデータを採取する予定である。

参考文献

- 1) 岩崎房子:足の温熱生理機能と靴内微生物汚染の実態について
- 2) 宇留野勝正:足の医学
- 3) 山崎信寿, 履き心地の改善戦略, 繊維学会誌 (繊維と工業) 43, p228-232 (1987)
- 4) 福岡正信, 靴の適合性と機能評価, 繊維製品消費科学会誌, 34, 54-60 (1993)
- 5) 大塚斌, 快適な靴とは, 繊維製品消費科学会誌, 36, 673-679 (1995)
- 6) 成瀬正春, 内田有紀, 靴内気候と足部の快適性, 繊維製品消費科学会誌, 41, 261-267 (2000)
- 7) 高嶋考倫:歩行中のヒト足部に着目した力学モデル解析とその応用に関する研究, 2003
- 8) 岩崎房子:成 9 年～11 年度文部省科学研究費補助金 (盤研究 C)研究成果報告書 (2000)