

模擬足による革靴の透湿性を計測する装置の開発

薩本弥生
横浜国立大学

Quasi-foot Apparatus to Measure Water Vapor Transfer of Leather Shoes

Abstract: It is important to study the measure the heat and water vapor transfer through leather shoes relating to thermal comfort. Quasi-foot apparatus was improved to measure the water vapor permeability in short time accurately by the shape of shoes which has been developed in our former study (Satsumoto et al, 2006). It was found that the water vapor permeability of the natural leather shoes was 1.8 times as large as that of artificial ones. The repeatability and accuracy of the values measured in our present study was better than that of our earlier study.

Yayoi Satsumoto,
Yokohama National University

Key Words: Thermal comfort, shoes microclimate, heat and water vapor transfer, leather shoes

要旨：靴を通しての熱・水分移動性に関して検討することは温熱快適性に関連して非常に重要である。本研究では革靴の透湿性を評価するために開発した水蒸気が透過する模擬足装置（薩本ら,2006）を改良し、簡便に靴形状のまま、靴の透湿性を計測できる装置を再開発した。天然皮革靴、人工皮革靴を比較したところ、顕著な差がみられ、天然皮革の方が、1.8 倍透湿性がよいことが分かった。以前の装置よりも再現性良く、精度も高く、靴の透湿性の評価方法として妥当な結果が得られた。

キーワード：温熱的快適性、靴内気候、熱水分移動性、革靴

1. はじめに

日本人が靴着用の生活を始めてから約 1 世紀が経過し、生活時間中に靴を着用している時間が増加し、靴の快適性が重視されるようになり、着用中の靴内環境が身体に及ぼす影響が注目されている。靴を着用した時、足はほぼ密閉状態になる。皮膚からは常に不感蒸散があり暑熱環境や運動時には発汗も生じ現代のようなストレス社会では足裏からのストレス性発汗量も多い。そのため、水分の除去が円滑に行われなければ、足に蒸れ感を生じ、足の衛生上また健康上にもさまざまな問題が生じると考えられる。したがって靴を通しての熱水分移動性に関して検討することは温熱的快適性に関連して非常に重要である。

著者らの先行研究では歩行運動中の靴内温湿度に革靴の透湿性能が、どのように寄与するか、被験者実験により検討するため、人工皮革と天然皮革で同じ形状

の革靴を試作し、被験者実験を行った（薩本ら, 2005）。

革靴の透湿性能に関しては JIS (L1099) B-2 の酢酸カリウム法の別法 (JIS ハンドブック繊維, 1996) に基づき透湿抵抗を測定したが、1 次元の布物性評価ではデザイン・形状の影響等が考慮されないため、現実の靴の熱水分同時移動系での評価と異なる事も考えられる。

そこで本研究では革靴の形状のままで熱水分同時移動系での革靴の熱水分移動性能を評価するための模擬足装置を試作した。天然皮革の靴と人工皮革の靴の熱水分移動性能を比較した結果を報告する。

2. 実験方法

被験者実験では、被験者の主観的な官能量を評価できる意味では有用であるが、靴の熱水分移動性への素材の物性や構成要因の効果が個人差や実験誤差の中にマスクされやすい。不快な状況で靴内で起きている現象をモデ

ル化して熱水分同時移動現象や布素材の物性の効果を理解する助けにするために Heus らの装置 (Heus et al, 2002) を踏襲し、試作した著者らの前報 (薩本ら, 2006) で試作したゴアテックスのナイロンラミネートの足部人体モデルを簡便性と再現性向上のため改良した。

2.1 実験材料

一般に革靴として多用されるローファー型の靴を試料として用いた。靴の透湿抵抗の熱水分移動性能への影響を検討するため、Table1 に示すように平行して行った被験者の足のサイズに適合する足長、足囲の同デザインで表革として天然皮革靴、人工皮革靴を使用した革靴を試作した。外観では両者の見分けはつきにくい。

Table 1 Variation of trial shoes.

Examined shoes	2E	2E-s
Foot measurement (mm)	231	231
Foot length (mm)	225	225
Material of leather	natural	artificial
Photograph of each shoes		

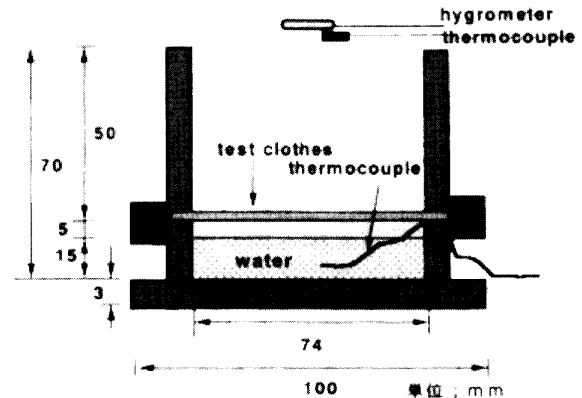
試料の物性を Table2 に示す。

引っ張り特性は両者であり差がない。天然皮革のせん断硬さ G は天然皮革が人工皮革の 1.4 倍である。2HG は天然皮革の方が小さい。これらは天然皮革の方がせん断硬く回復性が高いことを意味する。天然皮革の方が、表面摩擦係数が大きい、表面粗さは天然皮革の方が、1.6 倍なめらかである。圧縮特定に関しては人工皮革の方が圧縮されやすい。熱伝導率は両者であり差がない。

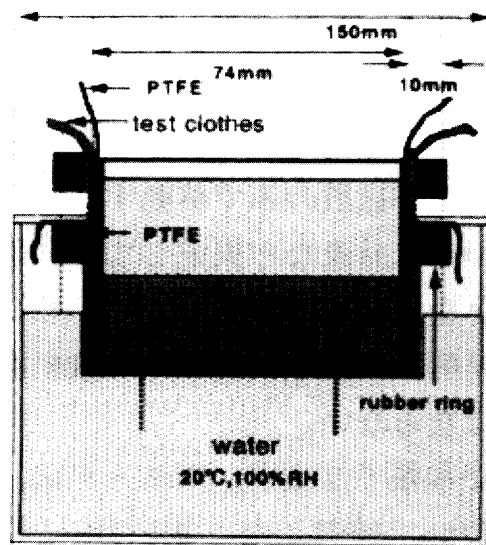
2.2 酢酸カリウム法で測定した透湿抵抗

水蒸気移動に関しては布の透湿性が重要である。布の透湿性は布の有効熱伝導率と同様に、布の基本物性値でその定量化が重要である。布の透湿度測定法は Fig. 1 a) に示す JIS (L1099 A-2) のウォーター法がメジャーであるが測定すると再現性が良くないことが著者らの先行研究で明らかになった (Satsumoto et. Al, 1997)。この研究の中で測定誤差の原因としてフィックの拡散則が成り立つと仮定しているのに対し、実際には対流が生じていることによる誤差と、境界空気層の透湿抵抗を差し引く事による誤差の寄与を検討した。ストローで境界空気層を細分化することにより 1 次元の拡散に適應される Stefan の法則がかなり成り立ち、装置の改良がなされた。しかし、Fig. 1-b) に示す酢酸カリウム法であれば、空気層の抵抗部分を除外することが出来るため、より正確に布の透湿抵抗が測定できる。そこで、本研究で

は革靴素材の透湿抵抗に関して酢酸カリウム法により測定を行った。



a) Water method



b) CH₃COOK Method

Fig.1 Schematic illustration of two methods to measure water vapor resistance of clothes.

2.2.1 測定手順

酢酸カリウム過飽和水溶液を作る。この上澄み液は相対湿度 20% になる性質がある。過飽和状態にさせるため、酢酸カリウム 300 g を水 100 g に溶かす。円筒カップにゴアテックスフィルムを被せ、その上に試料を被せ、更に 2 枚目のゴアテックスフィルムを被せ、ゴムリングで止める。作った酢酸カリウムの液を流し込み、装置全体の質量 W_1 を測定する。装置を大きい容器に移し、試料部分が 1 cm ほど水に浸かるように水の量を調整する。20 分放置し、装置の重さ W_2 を測る。水の温度と酢酸カリウムの温度を測る。測定値により (1) 式を使って各々透湿度を測って比較する。

$$m = \frac{W_2 - W_1}{A \cdot t} \dots (1)$$

m : 透湿速度 ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$), A : 透湿面積 (m^2)

t : 測定時間 (s), $W_1 - W_2$: 測定時間当りの質量の変化

JIS の規格では単位時間、単位面積あたりの透湿速度で透湿度を示すが、透湿速度は(2)式のようにあらわするため、この関係から(3)式を用い透湿抵抗を求めた。

$$m = D \frac{\Delta C}{d} \cdot \cdot \cdot (2)$$

$$R = \frac{\Delta C}{m} \cdot \cdot \cdot (3)$$

ここで R:透湿抵抗(s/m), ΔC :布表裏の水蒸気質量濃度差(g/m³),D:布中での水蒸気の透湿係数(m²/s)

2.2.2 酢酸カリウム法の実験結果

実験結果は、Table2 中に示す。一般の衣服素材として用いられる肌着素材の天竺では透湿抵抗が約80s/mである。革素材の場合、天然皮革で15277.0s/mなので190倍、人工皮革で17116.5なので213倍であった。一般の布と比較すると極めて透湿抵抗が大きいことが分かる。人工皮革靴と天然皮革靴の透湿抵抗の比は1.12:1で人工皮革の方が若干、透湿抵抗が大きい。

2.3 模擬足装置

模擬足測定装置の概要を Fig.2 に示す。

平行して行った被験者1名の足形からゴアテックスのナイロンラミネートのソックス状のものを試作した。中に水を満たし上部の水が濡れないようにしっかりとシールしてチューブで恒温水槽に連結した温水を循環させ、水温をコントロールすることで不感蒸散の速度を可変できる模擬足を試作した。循環する水の水压により、わずかな隙間でも水漏れが生じるため、上部のシール部より上の部分はセメダインで全面密閉した。

2.4 前報の実験手順

予備実験で水を流しながら天秤で連続測定した重さはエラーが発生して今度の実験結果としては使用でき

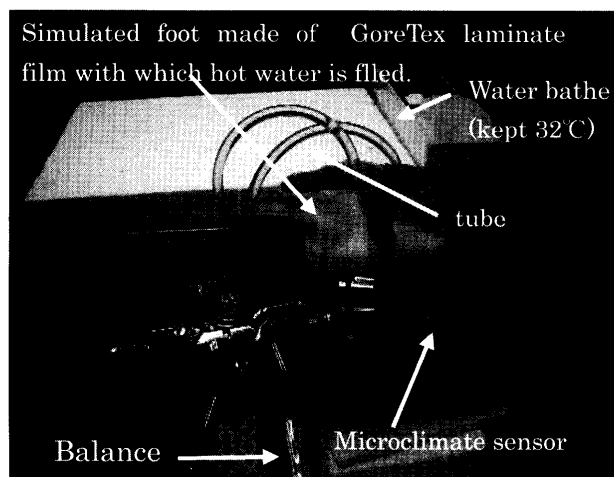


Fig. 2 Quasi-foot apparatus

Table 2 Physical characteristics of materials.

Material property	Symbol /unit	Natural leather	Artificial leather
Elongation	EM (%)	6.44	6.11
	LT (—)	0.779	0.874
	WT(g · cm/cm ²)	12.8	13.5
	RT (%)	43.0	50.8
Shearing	G (g/cm · deg)	8.06	5.87
	2HG (g/cm)	16.7	19.3
Surface	MIU (—)	0.435	0.379
	MMD (—)	0.0192	0.0145
	SMD (μm)	0.79	1.24
Compression	LC (—)	0.315	0.491
	WC (g · cm/cm ²)	0.122	0.157
	RC (%)	53.4	52.7
Thickness (mm)		1.13	1.31
Thermal conductivity (W/m/K)		0.82	0.83
Water vapor resistance (s/m)		15277.0	17116.5

*Bending and air permeability property can not be measured because of hardness of leather.

なかったため前報では、本実験では45分のインターバルで靴のみを天秤に移し、間欠的に天秤で靴だけの重さを計測した。まず、恒温水槽温度を快適な時の平均皮膚温である32℃に設定し、実験用靴の重さを量る。その後、模擬足と実験用の靴の中にデータ読み取り用のセンサーを貼り付けてから模擬足を実験用の靴の中に入れる。その際、模擬足の靴からはみ出る部分はサランラップで覆い、透湿しないようにシールした。準備が出来たら恒温水槽と靴を連結して水を循環させ重さ変化を測る。経時変化を把握するために、1種類の靴を5時間実験した。実験は1素材に付き、3回繰り返した。この方法は、長時間を要し、靴を脱がせる度に靴内の湿り空気が報質されるため、誤差が大きかった。

2.5 本報の改良点

本報では、模擬足に靴を履かせ、チューブに2方向ストップコック（逆流防止弁つき）とワンタッチで着脱可能なカップリングを取り付けバルブを取り付け、恒温水槽で一定温度に模擬足が暖まった後、チューブを恒温水槽から切り離し、20分間電子天秤に着靴模擬を載せ、10秒ごとに質量を連続計測した。恒温層の温度は実験中の温度低下を考慮して、34℃に設定した。実験装置の模式図を Fig. 3 に示す。

計測した重量変化の傾き W1 を模擬足からの放湿量とする。靴の実験前の乾燥重量と実験直後の靴のみ重量を計測し、時間あたりに換算した値を W2 とする。これは、靴内部に溜まりこんだ水分の重量を意味する。

W1 から W2 を差し引いた質量を W3 とする。W3 は靴

からの透湿量を意味する。

$$W_3 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

W1: 模擬足からの放湿量 (mg/hr),

W2: 靴に溜まる量 (mg/hr),

W3: 靴からの透湿量 (mg/hr)

実験は、各条件で3回繰り返した。

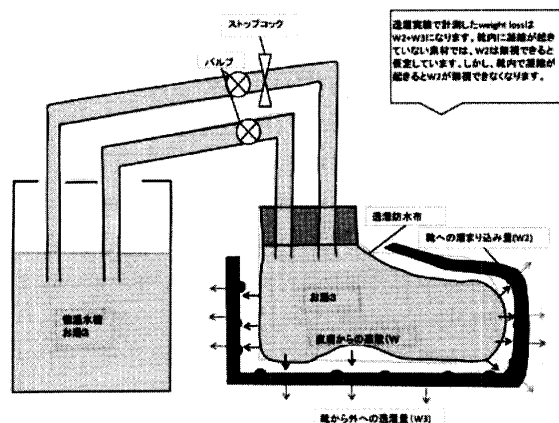


Fig.3 Schematic diagram and photo of apparatus

3. 結果

模擬足に各々の靴を履かせたときの各々の放湿の重さの平均値および標準偏差を Fig.4 に示す。天然皮革靴の透湿量は人工皮革靴の透湿量の約 1.8 倍多かった。再現性は、おおむね良好であった。

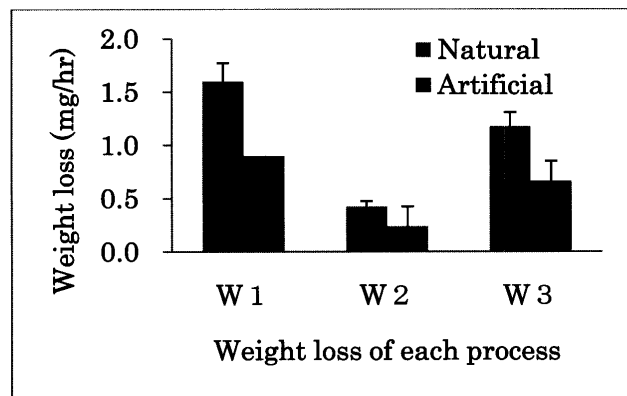


Fig.4 Results of Weight loss of leather shoes

4. 考察

前報の装置では、ケーブルが恒温層と繋がっているため、天秤で計測する際の精度を考慮して、靴への溜まり込み量 (W2) のみ計測した。実験結果を Fig.5 に示す。45 分に一回の間欠計測であったため、長時間を要し、一旦靴を脱がせるために湿り空気が放湿される

ため、精度があまり良くなかった。

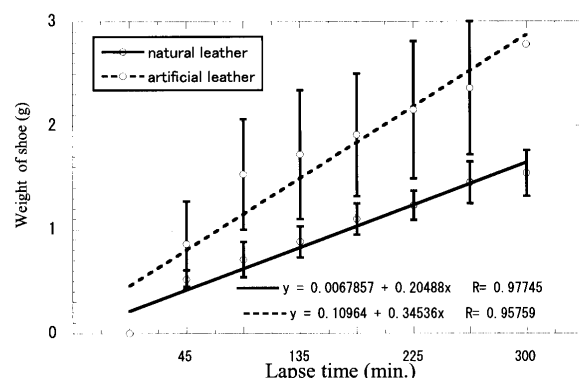


Fig.5 comparison weight loss of artificial leather shoe with one of natural leather shoe.

本実験の装置の改良により、若干の模擬皮膚温度の低下はあるものの、20 分程度の短時間で簡便に靴の形状のまま、透湿性を計測し、比較できることが明らかになった。靴の透湿性の評価方法として妥当な結果が得られ、再現性も良好であった。

5. 文献

Y. Satsumoto, S. Piao and M. Takeuchi, 2005 : The effect of size factor and material property of leather shoes on heat and water vapor transfer relating to shoes microclimate. Proceeding of the 8th International Congress of Physiological Anthropology, ICPA 58-59.

繊維製品の透湿度試験方法, JIS-L 1099-1993, 1996. JIS ハンドブック繊維-1996, P.522/524.

R. Heus, E. Schols, and W. Van den Eijnde, 2002 : Water vapor transport as determinant of comfort in evaluation shoes, Proceeding of the 10th International Conference on Environmental Ergonomics, 577/580.

薩本弥生, 朴善花, 竹内正顯, 2006 : 革靴の熱水分移動性能を評価する模擬足装置の試作, 人間生活環境学会年次大会ポスター発表要旨

<連絡先>

著者名 : 薩 本 弥 生

住 所 : 240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区 79-2

所 属 : 横浜国立大学教育人間科学部

E-mail アドレス : satumoto@ynu.ac.jp