

## 快適感に及ぼす靴素材と水分量の影響

三ツ井紀子、吉田和江、岡村浩

### The Effect of Shoe Materials and the Ratio of Moisture Content between Shoe and Skin on Wear Comfort

Michiko Mitsui, Kazue Yoshida and Hiroshi Okamura

The effect of shoe materials and moisture content on wear comfort while walking and resting has been studied by the experiment using natural and artificial leather shoe. Temperature and absolute humidity between the first and the second toe were the highest. Temperature and absolute humidity between the first and the second toe, and those on the skin surface at the arch of the foot had a significant difference. The significant difference was found in those between the first and the second toe, and those on the stocking at the arch of the foot. In the case of wearing leather and artificial leather shoe, temperature, absolute humidity, thermal sensation, sense of sweating, sense of soaking and discomfort sensation, these four kinds of subjective sensations were about the same. There was high connection between those subjective sensations and the moisture content between the first and the second toe. Wearing properties of natural and artificial leather shoe were about the same under medium temperature and absolute humidity.

#### 1. 緒言

生活習慣・生活様式の変化にともない、靴は明治初期より普及してきたが、近年の健康志向の中で、靴の機能性について関心が持たれつつある。靴の機能性評価や靴着用による快適性に関する解説はあるが<sup>1~4)</sup>、靴の着用による報告は僅かである<sup>5,6)</sup>。靴を着用すると靴内は換気が不十分となり、靴の構成素材が熱・水分の移動や着用感に及ぼす影響は大きいと考えられる。そこで、市販のローファータイプ革靴を綿ソックス、ナイロンストッキングと組み合わせた場合の着用快適感について検討した<sup>7)</sup>。また、同じ靴型で素材の異なる3種類の靴を用い、衛生学的な検討を行い報告した<sup>8~10)</sup>。その結果、靴内の汗成分について、また靴の素材や靴下が

着用感に影響を及ぼすことがわかった。

そこで今回は、靴素材のほか靴内水分量の影響をみるため、天然皮革と人工皮革により特別に製作したパンプスを用い、人工気候室内で運動負荷による着用実験を行い、靴内気候と被験者の快適感など被験者の主観的感覚について比較、検討を行った。

#### 2. 実験方法

##### (1) 試験靴

試験靴として、靴構成素材では最も代表的な天然皮革と、物理的性能をより天然皮革に近づけるよう改良したとされる人工皮革を用いた。天然皮革靴は素材に中牛革、裏材に豚革を使用した天然皮革靴(L靴)、素材に人工皮革、裏

材に不織布を使用した人工皮革靴 (A靴) を特別に製作した。靴の型は、Fig.1に示すように足の被覆率が比較的小さく、女子大生に一般的に着用されているヒール高3.5cm、スクエアカットのパンプスとした。靴の作成には表材・裏材以外の全ての材料、つまり縫製糸から中底材、接着用ボンドまで全て同じものを使用した。靴のサイズは被験者それぞれに対してシューフィッターが決定したが、23.5~24.5cmであった。靴片方の質量は平均値で天然皮革靴180.1g、人工皮革靴175.0gとほぼ同じであった。

各試験靴に使用した表材・裏材ならびに両者を張り合わせた材料の特性を日本工業規格 (JIS) の革試験法により測定し、Table 1に示した。厚さはほぼ同じであるが、重さは天然皮革の方がやや重い。人工皮革の方が伸びや吸水性がよく、天然皮革の方が吸湿性、透湿性が大きい。

## (2) 着用実験

18歳から20歳の健康な女子学生8名を被験者とし、その身長、体重、足囲、足長をTable 2に示す。被験者は、1日に午前または午後1回、天然皮革あるいは人工皮革の試験靴を着用し、人工気候室内で実験を行った。サーカディアンリズムを考慮し、1種類の靴および1人の被験者が、午前のみ、午後のみに偏らないようにした。被験者は着用実験開始の1時間前までに足を洗い、乾燥し、人工気候室に入室し、前日より人工気候室内で十分に調湿した体操用長袖シャツ (綿70%・ポリエステル30%) とトレーニ



Fig.1 Type of the shoe

ングズボン (ポリエステル100%) を着用した。Fig.2に示した足の測定部位に、通気性と透湿性のあるゴアテックス布 (ゴアテックス社製) でカバーした温度・湿度センサ (神栄株式会社製) を、透湿性のあるマイクロポアサージカルテープ (3M Health Care製) で固定した。その後、ナイロンストッキング (ナイロン・ポリウレタン) と靴を着用し、椅座位の状態で安静を保った。ストッキングは毎回新品を着用した。

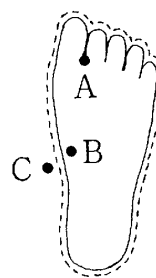


Fig.2 Location at which the temperature humidity sensor was set

- A between the first and the second toe
- B on the skin surface at the arch of the foot
- C on the stocking at the arch of the foot

着用実験は、21分間安静椅座位とし、続いて6分間、高低差35cmの踏み台昇降運動 (文部省体力判定基準) を行い、再び93分間の安静椅座位をとり、計120分間とした。

発汗には様々な要因が影響するが、今回は日常生活に相当する中程度の発汗状態とするため、RMR (エネルギー代謝率) が5.0程度<sup>1)</sup>の踏み台昇降運動とし、上記の踏み台を用い1分間に24回のリズムで繰り返した。人工気候室の環境は、温度23°C、相対湿度52%、気流50 cm/sec以下に設定した。

## (3) 測定部位および測定項目

靴内部の温度・湿度の測定部位は、Fig.2に示すように第1趾と第2趾間 (A点)、土踏まず (B点)、土踏まずでのストッキング上 (C

快適感に及ぼす靴素材と水分量の影響

Table 1 Physical properties of shoe material

Shoe group	L			A		
	upper	lining	combined sheet	upper	lining	combined sheet
Material	kip upper leather	pig lining leather		artificial leather	nonwoven fabric	
Thickness (mm) *1	1.2	0.5	1.7	1.1	0.7	1.8
Weight (g/m <sup>2</sup> ) *1	794	288	1095	467	188	701
Elongation (%) *1	52.5	53.3	49.1	100.0	56.7	64.2
Water absorption (%) *1	124	174	25	170	284	122
Moisture absorption *2 (mg/cm <sup>2</sup> )	3.9	1.7	6.0	0.6	0.3	1.0
Moisture transmission *3 (mg/cm <sup>2</sup> /hr)	9.0	3.5	2.2	3.2	22.6	1.3

\*1 :JIS K 6550    \*2 :JIS K 6544    \*3 :JIS K 6549

Table 2 Physical characteristics of the subjects

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Foot	
				Length (cm)	Circumference (cm)
A	20	158.0	46.0	22.3	20.4
B	19	156.0	48.0	23.4	22.0
C	18	153.0	50.0	22.9	22.0
D	19	160.2	57.0	24.5	22.5
E	19	154.5	52.0	22.4	21.4
F	20	165.0	57.0	23.0	23.0
G	19	151.0	38.0	21.2	20.3
H	20	157.0	55.0	23.7	21.9
$\bar{X}$	19.3	156.8	50.4	22.9	21.7

点) の3点とした。温度・湿度は3分間隔で連続的にデータロガー(神栄株式会社製)に収録してコンピュータ処理を行った。

口腔温は婦人用電子体温計(テルモ株式会社製)で、心拍数はデジタル自動心拍計(オムロン株式会社製)を用いて3分間隔で測定した。

着用実験中、被験者の主観的感覚すなわち足の温冷感、足の発汗感、靴下のぬれ・湿り感、足の不快感について3分毎に申告させた。申告に用いた各種主観的感覚のスケールをTable 3に示す。温冷感および不快感の基準は空気調和衛生工学会温冷感小委員会試案<sup>12)</sup>に準じた。

### 3. 結果および考察

結果は被験者8名の平均値で示した。測定時刻ごとの平均値と標準偏差を用い、着用条件間について、平均値の差の有意差の検定を行った。

#### (1) 心拍数および口腔温

Fig.3に被験者の心拍数の変化を示す。運動開始により直ちに心拍数は増加し、運動終了と同時に低下していき、徐々に回復していった。Fig.4に被験者の口腔温の変化を示す。運動終了直後に約0.6℃低下し、後運動前の温度より約0.2℃高くなり、後徐々に低下していた。運動による鼻からの換気や舌下の血流の影響によると考えられる。いずれの結果も試験靴間に有意差はみられなかったため、靴素材は心拍数や

口腔温に影響を及ぼさないと考えられる。

#### (2) 靴内温度変化

Fig.5に靴着用による測定部位別の温度変化を示す。運動負荷後の温度は、筋活動による熱産生のため増加し、その後緩やかに低下し、120分時ではほぼ運動前温度に戻っていた。部位別の温度は高い順に、趾間、土踏まず、土踏まずでのストッキング上であった。天然皮革靴では、趾間と土踏まずとの間には運動終了後の30分間に、趾間と土踏まずでのストッキング上との間には運動終了後の50分間に有意差がみられた。人工皮革靴においても、運動終了後に、

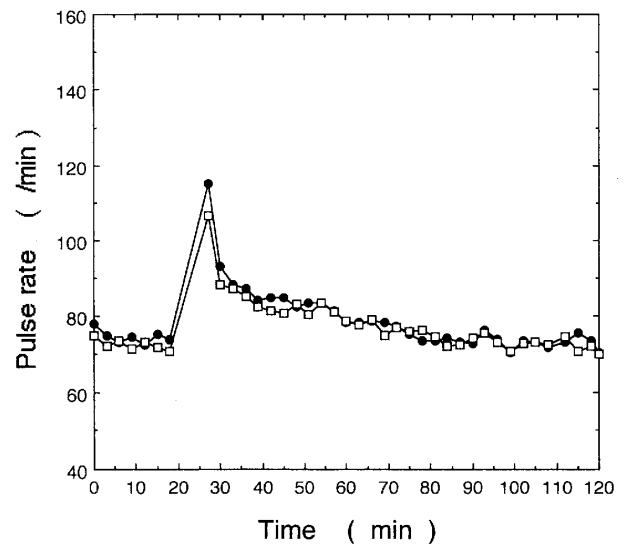


Fig.3 Pulse rate during the experiment

● Leather □ Artificial leather

Table 3 Subjective sensation rating chart

Rating	Thermal sensation	Sense of sweating	Sense of soaking	Discomfort sensation
4	Very hot	—	—	—
3	Hot	Much	Wet	Intolerable
2	Warm	Moderate	Slightly wet	Uncomfortable
1	Slightly warm	A little	Damp	Slightly uncomfortable
0	Neutral	Not at all	Dry	Comfortable
-1	Slightly cool			
-2	Cool			
-3	Cold			
-4	Very cold			

ほぼ同様な有意差がみられた。

趾間、土踏まずでは、2種の靴間にほとんど差はみられないが、土踏まずでのストッキング上では、天然皮革靴着用の方が人工皮革靴着用より約0.5~1.0℃高い傾向を示したが、有意差

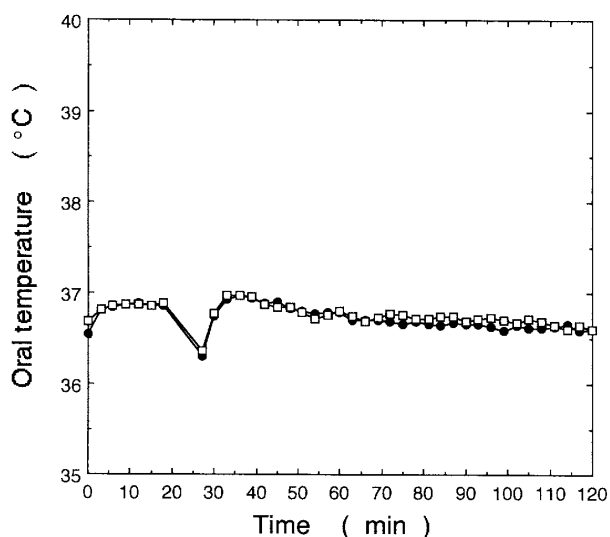


Fig.4 Oral temperature during the experiment  
● Leather □ Artificial leather

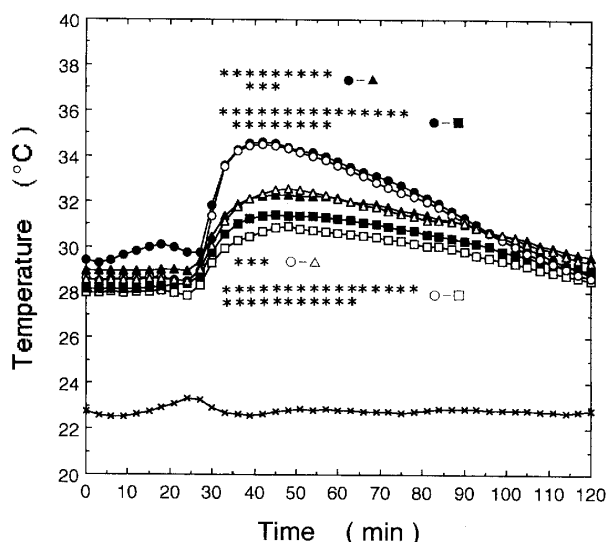


Fig.5 Microclimate temperatures between shoe and skin  
● Leather Location:A ○ Artificial leather Location:A  
▲ Leather Location:B △ Artificial leather Location:B  
■ Leather Location:C □ Artificial leather Location:C  
× Environment  
\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

はみられなかった。

被覆率の大きな紐付き短靴（オックスフォードと呼ばれる<sup>13)</sup>）を用い、環境条件も同じにした着用実験の結果<sup>9)</sup>では、天然皮革靴と人工皮革靴は本実験と同じ素材であるが、趾間での運動後の温度が本結果より1℃以上高く、土踏まずでも高温であった。これは、紐付き短靴の被覆率を1とすると、本実験で用いたパンプスは0.78となり、靴のデザインつまり被覆率が影響していると考えられる。また、この紐付き短靴では運動負荷中に足の蹴りによるベンチレーション効果で<sup>6)</sup>温度が低下したが、本実験ではその効果は天然皮革靴の趾間以外はみられなかった。これは被覆率が小さなパンプスであり、換気されやすいためと考えられる。

### (3) 靴内湿度変化

Fig.6に、靴着用による測定部位別の湿度変化を示す。湿度の場合は、いずれの靴にも運動負荷中のベンチレーション効果がわずかにみら

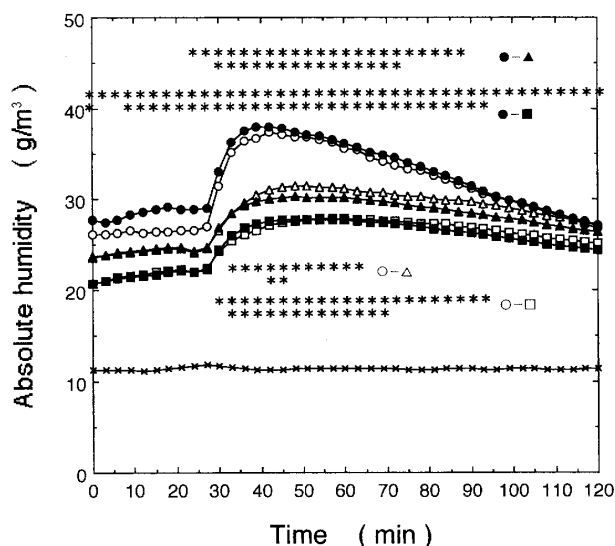


Fig.6 Absolute humidities between shoe and skin  
● Leather Location:A ○ Artificial leather Location:A  
▲ Leather Location:B △ Artificial leather Location:B  
■ Leather Location:C □ Artificial leather Location:C  
× Environment  
\* p < 0.05, \*\* p < 0.01

れた。靴内部の湿度は、高い順に趾間、土踏まず、土踏まずでのストッキング上となっていた。趾間の湿度は、いずれの靴でも運動終了後急上昇し、最大38g/m<sup>3</sup>と高く、後、低下していった。趾間が高湿なことは、趾間の温度も高く、運動による発汗量が皮膚温度と密接に関係していることや、第1趾と第2趾が密着していること、靴先は特に換気されにくいことなどが影響していると考えられる。前述の紐付き短靴の場合<sup>9)</sup>、趾間での運動後の湿度が最大40g/m<sup>3</sup>と高かったのは、靴の被覆率の影響と考えられる。

土踏まずにおける湿度では、運動終了後の湿度上昇は緩やかであったが、その後の減少量は少なく、運動前の湿度状態には戻らず、これは趾間の発汗に伴う水分に比べ土踏まずでの水分が少ないことと、高湿から低湿への移動、つまり趾間の水分が土踏まずの方へ拡散しているためと考えられる。

2種の靴間にほとんど差はみられないが、いずれの靴も、趾間と土踏まず、趾間と土踏まずでのストッキング上との間には有意差がみられ、靴素材より部位の影響が大きいことがわかる。

#### (4) 被験者の主観的感覚

Fig.7に被験者の足の温冷感の変化を示す。運動負荷により急速に温感覚が強まり、運動終了後3分時を最大値に、もとの感覚に徐々に低下していた。天然皮革の吸湿性、透湿性は人工皮革に比べて大きかったが66分時以外は、天然皮革靴は人工皮革靴に比べて全体的にやや涼しく感じる傾向にあるものの、有意な差ではなかった。

Fig.8に、被験者の足の発汗感の変化を示す。運動開始と同時に発汗を感じはじめ運動終了3分時を最大値として、後、徐々に低下していた。2種の靴間に有意な差はみられなかった。足底

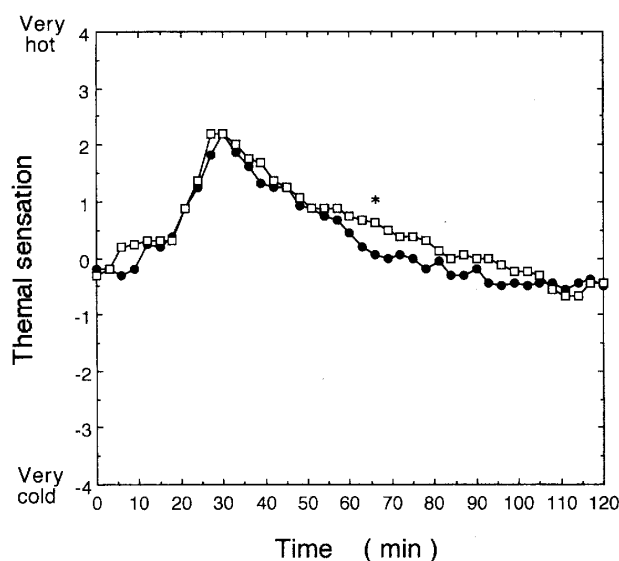


Fig.7 Thermal sensation during the experiment

● Leather □ Artificial leather

\* p < 0. 05

では一般に温熱生発汗はみられないといわれているが、中山<sup>12)</sup>は、温熱刺激に反射的に応じた発汗の増減は認められるとしている。また足底では、精神性発汗により常温でも覚醒時にはいくらか発汗がみられるため、足底の発汗は一般体表面の発汗と本質的な差はなく、相対的なものであるとしている。

Fig.9に、被験者のストッキングのぬれ・湿

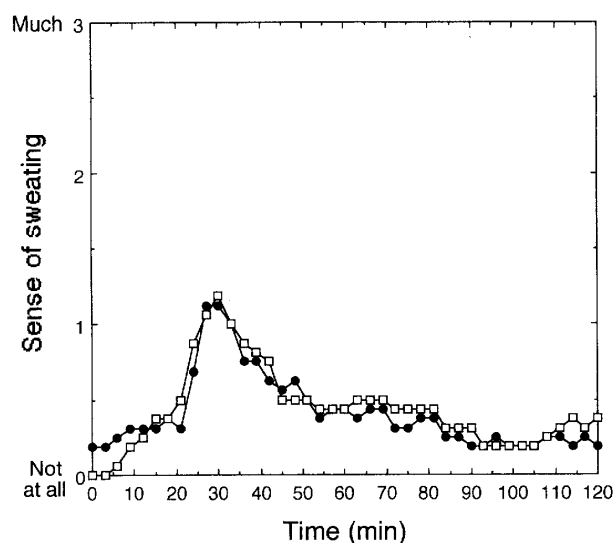


Fig.8 Sense of sweating during the experiment

● Leather □ Artificial leather

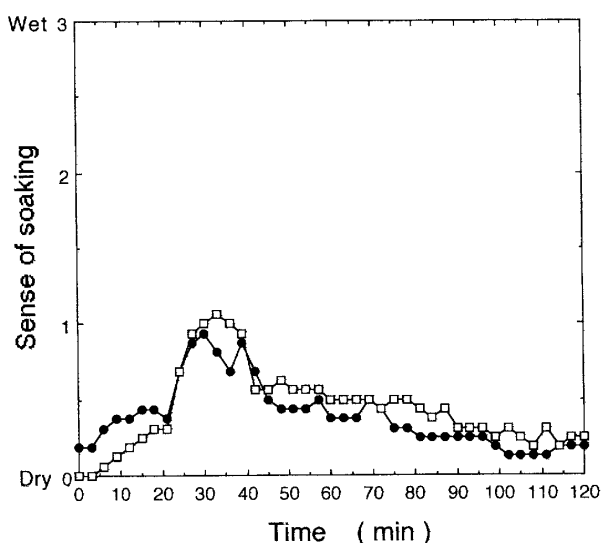


Fig.9 Sense of soaking during the experiment  
● Leather □ Artificial leather

り感の変化を示す。温冷感や発汗感同様、運動終了後緩やかに低下している。天然皮革靴の方がやや小さい傾向がみられるが、有意な差はみられなかった。

Fig.10に、被験者の足の不快感の変化を示す。運動終了直後に不快感が大きく、その後は快適な方向へと回復している。しかし、120分でも快適とはならず、100分を過ぎるとやや不快感を示した。靴間ではほぼ同じ傾向を示し、有意

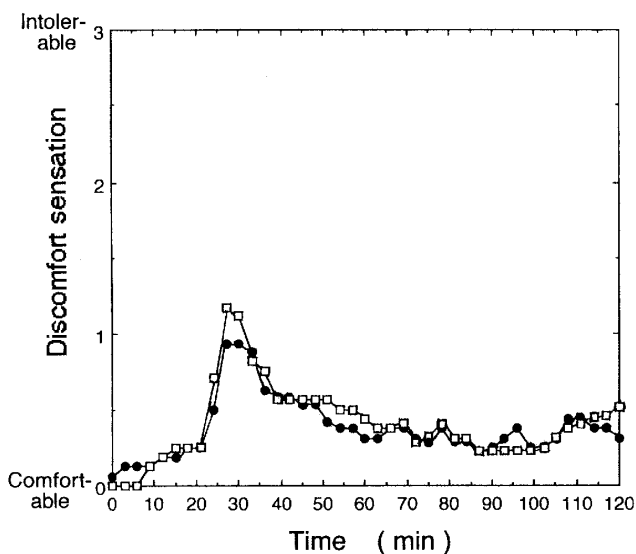


Fig.10 Discomfort sensation during the experiment  
● Leather □ Artificial leather

差はみられなかった。

靴内の部位別あるいは全体的温度・湿度のいずれが各種主観的感覚に影響するのかを調べた結果<sup>9)</sup>、測定部位別では、相関の大きい順に、趾間、趾間と土踏まずの平均値つまり靴下内皮膚上の平均値、測定部位3点の平均値つまり靴内総平均値、一番相関が小さいのが土踏まずであった。つまり靴下内平均の温度・湿度や靴内全体の温度・湿度より、趾間の温度・湿度が、被験者の各種主観的感覚に大きく影響していた。

そこで今回は、趾間の温度・湿度と各種主観的感覚との相関について、実験中(120分間)の結果をTable 4の上段に示した。さらに、温度・湿度の上昇時(0~36分)と下降時(39~120分)にわけて、Table 4の下段に示した。120分間では、温冷感、ぬれ・湿り感で相関は大きい、発汗感、不快感ではやや小さかった。温度と湿度とではあまり違いはみられなかった。上昇時と下降時にわけた場合、いずれの感覚でも相関係数は大きくなり、特に温冷感、ぬれ・湿り感の温度と湿度の下降時では著しく大きくなっていった。不快感は、上昇時の方は他の感覚と0.56から0.68とほぼ同じような相関を示していたが、下降時では0.41から0.50と小さくなっていった。不快感には温度・湿度だけではない要因、たとえば靴底剤の接触感やすべり摩擦係数なども影響すると考えられる。

参考のため、趾間の相対湿度を求め、それと各種主観的感覚との相関についてTable 5に示した。天然皮革靴の方が人工皮革靴より相関は大きかった。これは天然皮革靴の方が人の感覚と連動しやすく、人工皮革靴は相対湿度より他の要因が影響しやすいことを示している。

#### (5) 水分量の影響

Fig.6の湿度曲線において、実験開始から実

験終了までの趾間の湿度曲線と環境の湿度線とで囲まれた面積を求め、趾間の水分量とした。同様に土踏まず、土踏まずでのストッキング上の面積をそれぞれの水分量とし、趾間と土踏ま

ずの和を靴下内水分量、土踏まずでのストッキング上も含めた3つの値の総和を靴内水分量とした。Table 6 に示すように天然皮革靴着用を基準の1とした場合の相対比は、人工皮革靴の

Table 4 Relationship between subjective sensation and temperature or absolute humidity

	Leather				Artificial leather			
	Temperature		Absolute humidity		Temperature		Absolute humidity	
	(0~120min)		(0~120min)		(0~120min)		(0~120min)	
	0~36min	39~120min	0~36min	39~120min	0~36min	39~120min	0~36min	39~120min
Thermal sensation	(0.52) 0.69 0.89		(0.55) 0.73 0.90		(0.52) 0.66 0.96		(0.50) 0.67 0.96	
Sense of sweating	(0.44) 0.60 0.85		(0.47) 0.65 0.87		(0.42) 0.62 0.75		(0.41) 0.63 0.75	
Sense of soaking	(0.49) 0.61 0.85		(0.51) 0.66 0.86		(0.63) 0.76 0.89		(0.62) 0.77 0.88	
Discomfort sensation	(0.37) 0.63 0.41		(0.43) 0.68 0.47		(0.36) 0.56 0.47		(0.36) 0.58 0.50	

Table 5 Relationship between subjective sensation and relative humidity

	Leather	Artificial leather
Thermal sensation	0.63	0.03
Sense of sweating	0.66	0.16
Sense of soaking	0.62	0.31
Discomfort sensation	0.72	0.24



趾間水分量は0.97、靴下内水分量および靴内水分量はいずれも0.98となり、水分量は天然皮革靴とほぼ同程度であることがわかった。

23°C、52%と中程度の環境では、人工皮革靴は天然皮革靴着用時とほぼ同じような傾向を示しており、著しい違いはみられなかった。つまり、最新の素材で作製された人工皮革靴は天然皮革靴と同じような着用性能を有することがわかった。今後は、夏や冬の条件、つまり、より低温か高温にし検討する予定である。

前述の紐付き短靴<sup>9)</sup>と本実験でのパンプスについて、趾間の水分量を比較した結果をTable 7に示す。紐付き短靴の方が水分率は大きく、被覆率が大きいと水分量が大きくなることがわかった。

#### 4. 結 言

素材が異なる2種類の靴（天然皮革靴、人工皮革靴）を特別に製作し、人工気候室内で着用実験を行い、温度・湿度変化と被験者の各種主

Table 6 The ratio of moisture content in shoe

		Leather	Artificial leather
Location	A	1	0.97
Location	A+B	1	0.98
Location	A+B+C	1	0.98

Location is in Fig.2

Table 7 The ratio of moisture content between the first toe and the second toe

Type of shoe	Covering ratio	ratio of moisture content	
		Leather	Artificial leather
Pump	0.78	1.00	0.97
Oxford	1.00	1.13	1.08

観的感覚を調べ、靴構成素材、靴内水分量および被覆率との関係について検討した。

(1) 靴素材は、心拍数、口腔温に特に影響は及ぼさない。

(2) 測定部位別の温度・湿度は、大きい順に、趾間、土踏まず、土踏まずでのストッキング上であった。2種の靴間の温度・湿度は、ほぼ類似した傾向を示した。いずれの靴も、趾間と土踏まず、趾間と土踏まずでのストッキング上との間には有意差がみられ、靴素材より部位の方が影響が大きい。

(3) 紐付き短靴に比べ、温度湿度は低くベンチレーション効果は小さかった。これは足への被覆率が小さいパンプスで換気されやすいためと考えられる。靴の被覆率が大きいと靴内の水分率は大きくなった。

(4) 靴下内や靴内の水分量は、天然皮革靴着用と人工皮革靴着用とではほぼ同じであり、被験者の感覚もほぼ同様であった。測定部位別では、趾間の温度と湿度が主観的感覚に大きな影響を及ぼすが、他の感覚に比べ不快感と水分量との相関が比較的小さく、他にも要因があることが推測された。感覚との相関を、温度・湿度の上昇時と下降時とにわけると、わけない場合より大きくなった。

(5) 中程度の温度湿度環境では、最新の素材で作製された人工皮革靴は、天然皮革靴とほぼ同じような着用性能を有していることが認められた。

試験靴製作にご協力下さいましたスタンダード株式会社に感謝致します。本研究は文部省科学研究費（基盤研究C）の補助を受けた。本研究の一部は平成10年度（社）繊維学会において発表した。

## 文 献

1. 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)
2. 福岡正信, 靴の適合性と機能評価, 繊維誌, **34**, 54-60 (1993)
3. 大塚斌, 快適な靴とは, 繊維誌, **36**, 673-679 (1995)
4. 成瀬正春, 内田有紀, 靴内気候と足部の快適性, 繊維誌, **41**, 261-267 (2000)
5. Kawabata Atsuko and Tokura Hiromi, Effect of Shoe Type on the Thermoregulatory Response and Clothing Microclimate in Women during Walking and Resting., *J. Home Econ. Jpn.*, **44**, 665-670 (1993)
6. 大塚斌, 近藤麻理, 柿山哲治, 高橋周一, 軍司敏博, 着靴歩行時の靴内湿度とベンチレーション効果に関する研究, 繊維誌, **36**, 334-340 (1995)
7. 三ツ井紀子, ソックス、ストッキングと革靴着用が靴内気候と快適性に及ぼす影響, 昭和女子大学大学院生活機構研究科紀要, **10**, p49-60 (2001)
8. 石井泰博, 白井邦郎, 三ツ井紀子, 辻和江, 岡村浩, 長南康正, 異なる素材を使用した靴の着用による衛生学的検討 (第3報) 靴内の微生物生育, 日本繊維製品消費科学会1995年年次大会研究発表要旨, 88-89 (1995)
9. 三ツ井紀子, 吉田和江, 石井泰博, 白井邦郎, 長南康正, 岡村浩, 靴の衛生学的検討 (第1報) 靴素材による靴内気候と着用感, 繊維誌, **40**, 333-341 (1999)
10. 長南康正, 石井泰博, 白井邦郎, 三ツ井紀子, 吉田和江, 岡村浩, 靴の衛生学的検討 (第2報) 靴内汗成分の挙動と蓄積, 繊維誌, **41**, 692-699 (2000)
11. 坂本吉正, 駒井説夫, 萱村俊哉, 『現代健康教育学』, 朝倉書店, p137 (1992)

12. 中山昭雄, 『温熱生理学』, 理工学社, p147,  
p581 (1987)
13. 大塚斌, 靴の商品学, 織消誌, 36, 523-  
528 (1995)