靴内気候と快適性

Effects of Shoe Microclimate on Wear Comfort

三ツ井 紀 子

1. はじめに

日本では従来、下駄や草履など開放性の履物が用いられてきたが、明治初期から閉塞性の靴が急速に普及してきた。日本の夏は熱帯並みになるほか梅雨もあり、皮革は衣類に比べ足からの熱と水分を靴外部に放散しにくいいため、靴内は著しく高温高湿になり蒸れ感を生じる。

足の蒸れは靴擦れやまめを生じやすくするほか、臭いの元となるぶどう球菌や水虫の原因である白癬菌などの増殖を促す。また生活習慣や様式の変化に伴い靴着用時間は長くなっており、足に合わない靴を履き続けると、外反母趾、陥入爪、ハンマートウなどの障害が発生するほか、腰痛など身体にも悪影響を及ぼすことが知られている。

靴を快適に着用するための要因には、靴のサイズ、足と靴のフィット性、足への圧力、靴構成素材の性能、靴内の温度湿度などが考えられる。近年の健康志向の中で靴の機能性について関心がもたれ、足の形態測定の研究、靴の機能性評価や履き心地に関する解説¹⁻⁴⁾などが発表されている。本稿では、靴内気候を中心に足部の着用快適性との関係について概説する。

2. 足部快適性への靴下の影響

裸足、靴下や靴着用の足部快適性への影響について検討した⁵⁾。ソックス、ストッキングとローファータイプの革靴(甲革は天然皮革、裏革は豚床革タンニンなめし)を用いた。靴の内側は吸水性が8mmあり、撥水生は50%である。温度26℃の人工気候室でRMR(エネルギー代謝率)が5.0程度⁶⁾の運動を6分間(21分から27分)負荷し、日常生活に準じた中程度の発汗になるようにした。その他は安静椅座位とし成人女子7名による着用実験を行った。靴下は着用・洗濯の繰り返しにより油脂などが残留し、吸水性、吸湿性など物理的性能が変化するため⁷⁾毎回新品を使用した。足部の温冷感および不快感の基準は空気調和衛生工学

会試案⁸⁾に準じた。

その結果、裸足に比べ靴下を着用すると温度湿度ともに上昇するが、さらに靴を着用すると著しく高くなり皮膚温や相対湿度の限界まで達していた。温度湿度ともに趾間(第1趾と第2趾の間)が最も高く、次に土踏まず、土踏まずにおける靴下上の順であった。

被験者の足部温冷感では裸足と靴下着用間には有意な差は見られないが、裸足と靴だけの間、靴下だけと靴下に靴着用との間には有意な差が見られ、靴着用により温感は強くなっていた。発汗感は温冷感とほぼ同様であった。靴下のぬれ・湿り感は靴を併用すると強く感じるが、ナイロンストッキングよりソックスのほうが強く感じていた。衣服の濡れ感覚には様々な要因があり、繊維素材の構造上の違い、吸水特性による^{9,10)}ほか、環境の絶対湿度だけでなく、その変化速度の差にも影響される。綿ソックスは吸湿性、吸水性がよく、ストッキングは通気性が良いが、今回の試料の物性は定常状態での測定であり、刻々と絶対湿度が変化するような非定常状態での測定も必要と考えられる¹¹⁾。

図1に着用者の足部の不快感を示す。靴下だけより靴下と靴を併用すると足部の不快感は増大する。靴内の温度湿

図1 着用実験中の足部の不快感

MICHIKO MITSUI

徳島文理大学人間生活学部
同大学院人間生活学研究科
教授 学術博士

〒770-8514 徳島市山城町西浜傍示
Tel: 088-602-8102 Fax: 088-622-3217
E-mail: mitsui-m@tokushima.bunri-u.ac.jp
〈専門〉被服材料学 被服管理学

度は運動終了後高かったにもかかわらず、被験者の温冷感、不快感など主観的感觉は低下していったが、これは衣服内気候の温冷感同様、慣れが関係するものと考えられる¹²⁾。

靴だけ着用した場合、靴内の温度湿度はかなり低いにも関わらず不快感は大きく、靴下を履いた方が温度湿度は高くなっても快適で靴下の効果がみられる。これは靴内気候だけでなく、靴下着用により足が靴底に密着せず、靴下がクッションとなり点で接するようになるからなど、接触感、肌触りなどの表面状態も影響するためと考えられる。

3. 靴の構成素材による快適性

靴着用時の快適性には靴の形状のほか、靴構成素材の影響が考えられる。足への被覆率が大きくフィッティングが容易なひも付き短靴(オックスフォード)を特別に製作し検討した¹³⁾。天然皮革靴は表が牛革で裏材が豚革、合成皮革靴の裏材はビニルシートで、人工皮革靴の裏材は不織布である。23℃の人工気候室内で、成人女子8名に、21分から27分まで運動を負荷し計120分間の着用実験を行った。

運動を負荷すると合成皮革靴にベンチレーション効果¹⁴⁾による靴内の温度湿度の一時低下が見られるが、これは運動負荷前の温度湿度が高いからと素材の伸びが小さいからと考えられる。趾間では運動終了後の温度は36℃と高く皮膚温の限界に達し、運動後の湿度も最大40g/m³で相対湿度95%に達しているため、靴素材間に有意な差は見られなかった。これは趾間が密着していることと、靴先は特に換気されにくいためと考えられる。

図2に土踏まずにおける温度と湿度を示す。靴内の温度は約30℃から33℃で、合成皮革靴が高く、天然皮革靴と人工皮革靴は同程度である。靴内湿度は約22~33g/m³で、合成皮革靴は著しく高く、次いで人工皮革、天然皮革靴が一番低かった。表裏材を接着した天然皮革靴の吸湿性は人工皮革靴の約6倍、透湿性は1.7倍と良いことと、合成皮革靴は吸湿性、透湿性などが劣るためと考えられる。

図3に実験中の靴着用者の足部のぬれ・湿り感を示す。合成皮革靴着用時がぬれ・湿り感や不快感が最も大きく、天然皮革靴と人工皮革靴とは類似した傾向が見られた。皮膚上での測定部位による平均温度湿度や靴内全体の温度湿度より、足指間の温度湿度の方が着用者のぬれ・湿り感や不快感との相関は大きかった。つまり、足全体の環境ではなく、足指辺りの温度や湿度で、汗をかいている、蒸れている、不愉快と感じていることがわかった。

サーモグラフィーで足部皮膚温分布を測定すると¹⁵⁾、足背と足底では異なっており外気温の影響を受けていた。寒冷環境下では、四肢の皮膚表面層の血管は収縮して血流量を減じ、体熱放散を防ぎ、暑熱環境下では血管を拡張させ放熱を進め、体温調整を行っている。人の汗腺はほぼ全身に開口しているが、手掌や足底に開口している汗腺はエクリン腺で汗腺密度は高く、成分はほかの部位より食塩濃度が高いため蒸発しにくい傾向がある。また精神性発汗が主で温熱性発汗は認められず、手掌や足底は外気温に関係な

図2 土踏まずにおける温度と湿度

図3 各種素材靴着用時のぬれ・湿り感

く寒冷環境下でもいつも軽く湿った状態になっている¹⁶⁾。

天然皮革靴と人工皮革靴は類似していたが、合成皮革靴は明らかに靴内環境が劣っていた。これは靴構成素材の物理的性能が、靴の衛生的観点からの価値に大きな影響を及ぼすことを意味している。

4. 靴内水分量と着用者の各種主観的感覚

本稿2で述べたように足の温熱生理特性から履き心地には靴内気候のみならず水分の増加に伴うべたつき、摩擦係数の増加などが重要な因子になると考えられる。そこで靴内水分量の影響について考えてみた。

靴構成素材による実験結果の図2の湿度曲線において、実験開始から実験終了までの土踏まずにおける湿度曲線と環境の湿度線とで囲まれた面積を求め、土踏まずにおける水分量とした。同様に趾間での面積、土踏まずにおけるソックス上の面積を求め、それぞれの水分量とした。それら水分量の総和を靴内水分量とした。天然皮革靴を1とした場合の合成皮革靴は1.24、人工皮革靴は1.08となり、合成皮革靴の靴内水分量が多いのがわかる。

さらに詳しく水分量の影響を見るため、天然皮革と人工皮革によるパンプスを特別に製作し同様の着用実験を行った¹⁷⁾。人工皮革靴より天然皮革靴の方が吸湿性6倍、透湿性は約2倍良かった。天然皮革靴着用を1とした場合、人工皮革靴は趾間の水分量が0.97、靴下内水分量0.98、靴内水分量も0.98と、天然皮革靴と人工皮革靴はほぼ同程度であった。これにより23℃、52%RHと中程度の環境では、最新素材の人工皮革靴は天然皮革靴とほぼ同等の着用性能を有することがわかった。

表1に本稿3で示した紐付き短靴(オックスフォード)¹³⁾とパンプスについて趾間の水分量を比較したものを示す。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多くなることがわかる。趾間の湿度と各種主観的感覚

表1 第1趾と第2趾間の水分量

靴の型	被覆率	水分率	
		天然皮革靴	人工皮革靴
パンプス	0.78	1	0.97
オックスフォード	1	1.13	1.08

図4 靴内水分量と靴着用者の各種主観的感覚

との相関では、天然皮革靴の方が相関は大きい。人の感覚と連動しやすく、人工皮革靴は湿度だけでなく他の要因が影響することを示していた。

図4は本稿2の靴下と靴着用の実験⁵⁾で同様に求めた靴内水分量と着用者の各種主観的感覚との相関を見たものである。各種主観的感覚と裸足、靴下着用、靴下と靴併用により各種感覚は大きくなっていき水分量の影響が認められる。

また靴構成素材のほかに靴の形状も大きく影響を及ぼす。図5はガスクロマトグラフ法を用い、レインシューズ、ビニール短靴、革靴着用の趾根部のCO₂濃度を測定した結果である¹⁸⁾。綿靴下のみ着用時は外気に近いが、靴と靴下を着用すると増加し、軽い歩行程度では換気されにくいことがわかる。衣服内空気は皮膚呼吸によって排出されるCO₂などによって汚染され、CO₂濃度は0.08%をもって換気不測を示す衛生的基準とされており¹⁹⁾、不快になるといわれているが、レインシューズ着用による足指の付け根部分は0.09%以上となり著しく換気されにくいことがわかる。

図5 靴・靴下着用後の趾根部CO₂濃度

5. 靴内汗成分の挙動と蓄積

生体からは汗腺や呼吸気道などからたえず水分が蒸発しているが、呼吸気道からと発汗以外の皮膚からの蒸発を不感蒸泄と言う。不感蒸泄量が多いのは顔、頸などの顔面であるが、次は足底、手掌である。足の背部分はエクリン腺があり温熱性発汗に関係している。靴を着用すると足はほぼ密閉状態に置かれることになり、この不感蒸泄と緊張による足裏からの精神性発汗量も多くなる。歩行などの運動により主として温熱性発汗が助長されて、靴内の気候は運動停止直後に急激に高温多湿となる⁵⁾。そのため汗の除去が円滑に行わなければ、汗やその誘導成分は靴内で素材に吸収されて蓄積し、微生物によって分解され悪臭を発する。さらに汗中の尿素が分解されるとpHが上昇し、細菌の繁殖を助長するなど、足皮膚の衛生上好ましくない。

汗の成分はほとんどが水であり、残りはわずか0.5%程度で、NaCl、窒素化合物、乳酸などである²⁰⁾。本稿3で

も述べたように足底では一般に温熱性発汗はみられない¹⁶⁾といわれているが、中山²¹⁾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の発汗が見られるため、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。

本稿3で示した靴と同じ靴型で製作した3種の構成素材別の靴を通常の生活環境下で一定時間着用し、その素材に蓄積する電解質成分をイオンクロマトグラフにより定量した。また一定時間予備着用した試験靴を用い、6時間着用した綿ソックス中へ吸収された汗成分の蓄積についても調べ、これらを経時的に比較検討した²²⁾。

図6 試験靴のつま先部に蓄積された溶出性電解質量

図6に180時間着用した構成素材別試験靴のつま先部に蓄積された溶出性電解質量を示した。試験靴および靴下の蓄積分量には大きな個人差がみられたが、これは天候、運動量、年齢、食事などの要因が影響するためと考えられる。靴や靴下は、その部位により汗成分の蓄積量に差異があり、体重がかかる底部の踵部やつま先部で蓄積量が多かった。予め異なる時間着用した靴を使用し、新しい靴下に蓄積する汗成分は予め着用した時間にはほとんど影響されず、着用日の天候や温度、湿度などの影響を受けていた。

靴に蓄積される汗成分では、天然皮革靴、人工皮革靴が多く、合成皮革靴は非常に少なかったが、合成皮革靴で履いた靴下への蓄積量はやや多かった。これは合成皮革靴の素材が吸水性、透湿性の乏しいビニルシートであるため、靴素材に吸収されない汗成分が靴下に吸収され蓄積したためと推察される。吸湿性や透湿性の大きい天然皮革靴では汗成分は移動しやすく、吸湿性・透湿性の少ない人工皮革靴では汗成分が中敷部分に滞留していることがわかった。

日常着用している靴内の足底部における一般細菌数を調

べたところ、男子学生が最も多く、次いで男性会社員、女子学生の順で、これは連続着用日数の影響によるものであるとの報告²³⁾もあり、靴は連続着用を避けたほうがよいことがわかる。

6. 靴開口部による足部の快適性

靴内気候を快適にするには足部の被覆率を小さくし、放湿を促す必要がある。草履と半長靴では草履を履いている方が直腸温、足底や足背の皮膚温は高いとの報告²⁴⁾があるように、暑熱時、女性はサンダルを履いたりして解放性を高めることができるが、男性の場合、密閉系の靴を履かざるをえない。そこで、開口部を変化させた天然皮革(表は中牛革、裏は豚革)によるパンプスを製作し同様の着用実験を行った²⁵⁾。靴開口部はつま先、両脇、踵部分である。

図7に靴着用者の足部不快感を示す。つま先を開けたL靴の不快感が小さい傾向が見られた。21分から27分まで運動をした後は50分間静止していても温度も湿度も高いままで低下しにくく、不快感など被験者の4つの主観的感覚も元の状態には戻りにくいことがわかる。これまでの研究から靴内に吸湿性の大きな素材を用いると快適となることはわかっていたが、それ以上に放湿が重要であり、どこか開いていればかなり温度湿度は低く快適になるものと考えたが、本実験よりかなり快適になるということはないことがわかった。本稿3で述べたように、人は趾間の温度湿度で温冷感や不快感を知ることはわかっているが、本実験から両脇をカットしたりバックベルトにするよりは、つま先を開けた靴のほうが発汗感覚は小さく快適に感じるということがわかった。

図7 開口部の異なる靴着用中の不快感

7. おわりに

今回行ったような日常生活における中程度の発汗では、靴下と靴の型や素材の差異は口腔温や心拍数に特に影響を及ぼしていなかったが、靴下、靴内の温度や湿度、靴構成素材、靴の開口部は靴着用者の主観的感覚に影響を及ぼし

ていた。足を健康で快適に保つためには靴や靴下の性能は重要である。また、スポーツシューズの研究では通気孔を持たせた吸湿速乾性のある中敷の開発などがあるが、皮革製婦人靴にも機能的で足の蒸れない中敷材や中底材が必要であり、研究の発展が期待される。

足の形態特性と温熱生理特性を知り、適切な靴の選択により靴内気候を適正に保ち、安全で清潔、健康で快適な靴生活が送れるようになることが望まれる。

引用文献

- 1) 山崎信寿、繊維学会誌(繊維と工業)、**43**, p228(1987).
- 2) 福岡正信、繊維製品消費科学会誌、**34**, 54(1993).
- 3) 大塚 斌、繊維製品消費科学会誌、**36**, 673(1995).
- 4) 成瀬正春、内田有紀、繊維製品消費科学会誌、**41**, 261(2000).
- 5) 三ツ井紀子、昭和女子大学大学院紀要、**10**, 49(2001).
- 6) 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).
- 7) 三ツ井紀子、酒井豊子、繊維製品消費科学会誌、**29**, 141(1988).
- 8) 中山昭雄、「温熱生理学」、理工学社、581(1987).
- 9) M. Mitsui, *Bulletin of the doctoral course of science for living system Showa Women's University*, **2**, 1(1992).
- 10) M. Mitsui, *Bulletin of the doctoral course of science for living system Showa Women's University*, **2**, 9(1992).
- 11) 三ツ井紀子、中島利誠、日本生気象学会誌、**26**, 41(1989).
- 12) 三ツ井紀子、中島利誠、日本生気象学会誌、**28**, 125(1991).
- 13) 三ツ井紀子、吉田和江他、繊維製品消費科学会誌、**40**, 333(1999).
- 14) 大塚 斌、近藤麻里、柿山哲治他、繊維製品消費科学会誌、**36**, 334(1995).
- 15) 岩崎房子他、日本家政学会誌、**51**, 587(2000).
- 16) 山崎信寿編、「足の事典」、朝倉書店、**74**(2008).
- 17) 三ツ井紀子、吉田和江、岡村 浩、昭和女子大学大学院紀要、**11**, 19(2002).
- 18) 成瀬正春、青山光子、日本公衆衛生学会誌、**36**, 682(1988).
- 19) 川村一男、田口秀子、「被服衛生学」、建帛社、147(2001).
- 20) 久野 寧、「汗の話」、光生館、86(1988).
- 21) 中山昭雄、「温熱生理学」、理工学社、147(1987).
- 22) 長南康正、石井泰博、三ツ井紀子他、繊維製品消費科学会誌、**41**, 692(2000).
- 23) 岩崎房子、靴の医学、**16**, 51(2002).
- 24) Kawabata Atsuko and Tokura Hiromi, *J. Home Econ. Jpn.*, **44**, 665(1993).
- 25) 三ツ井紀子、繊維学会秋研究発表会要旨集、**58**, 118(2003).