「衣服設計と人体に係わる計測技術」特集

人体に及ぼす衣服圧の計測

伊藤 紀子

1. はじめに

衣生活をとりまく環境は、各種素材の開発やアパレルメーカーの努力により、多種多様な衣服が供給され、しかも着こなしの多様化も進んでいる。そのような状況下で人々の衣服に対する要求は高まる傾向にあり、より高品質、高性能で着心地の良い衣服が求められている。

着心地を左右する要因に衣服の熱水分特性、運動機能性、肌触りがあり、衣服の熱水分特性は、精度のよい各種温度センサーや湿度センサーを用いて計測され研究データの蓄積がなされている。肌触りについては、衣服素材と接触したときの瞬時の熱移動や微小変形下の素材の力学特性の計測がなされている。運動機能性は衣服重量、衣服のゆとり量およびその配置、衣服地の伸長性や摩擦特性が関係する。これらの評価指標として衣服圧計測がある。

衣服圧計測の歴史は古く、入鹿山¹⁾、川生²⁾の扁平ゴム球とU字型水銀圧力計による帯圧の衛生学的研究に始まる。現在では、計測方法も検討され、快適衣服設計の立場や拘束衣服の人体生理上の影響解明、高齢化社会に対応し褥そう予防の視点からなど、衣服圧計測が盛んである。しかし、人体はその大きさが手首や足首の小さな周径の部位から腹部、腰部、胸部の大きな周径の部位までがあり、内部構造も骨部、筋肉組織、脂肪組織、種々の内臓と解剖学的にも複雑な構造から成る。そのため、計測方法については慎重な配慮が必要である。

ここでは、複雑な構造である人体上での機器による衣服圧計測の問題点や留意点について、著者の体験を通して気づいたことおよび現在進行中の研究について概説す

る。

2. 機器による衣服圧計測の変遷と計測の意義

人体が衣服から受ける圧迫感や拘束感である衣服圧の評価法として、主観的評価法と客観的評価法がある。前者は着用者の感覚に訴える方法であり、一対比較法やSD法がある。後者は、機器や理論計算による衣服圧計測と着用時の衣服の伸びやせん断にみる歪み量の計測および張力計測などがある。

機器による衣服圧計測においては、1990年以前は歪ゲージ型圧力センサーや薄少小型の半導体圧力センサーを直接または加工したものを衣服と人体の間に直接挿入し、衣服圧を電気抵抗変化として計測する方法が主流であった。しかし、この方法では、人体の形状(圧縮硬さ、曲率)によって理論計算から求めた推定衣服圧(以後推定値とする)と著しく異なることが判明し^{3,4)}、ほとんど使用されていない。

現在、広く使用され始めている衣服圧計測法は、伸縮しないフィルムからなる小袋(直径2cm前後、厚さ0.1mm)に空気を封入し、計測しようとする衣服下に挿入し、小袋に連結した細いチューブ(内径0.5mm)を接触外部へ誘引し圧力計測する方法⁵⁾である。著者の開発したエアバック方式⁶⁾や褥そう予防研究に使用されているドイツ製の体圧分布計測定システム⁷⁾も上記方式と近似している。また、小袋に空気ではなく蒸留水を封入する方法^{8,9)}もある。これらの方法は、挿入部が小型化し、衣服圧値を電気信号によって計測しているものの、原理的には川生²⁾の計測方法と同一である。すなわち、衣服圧を流体圧変化でとらえ、その変化を水銀圧変化や電気抵抗変化として計測

Measurement of Clothing Pressure on the Human Body

著者紹介 NORIKO ITO

鳥取大学 教育学部教授 医学博士

著者はアパレル科学を専門とされ、著書に「着心地の追求」(放送大学, 1995, 分担執筆)、「アパレル科学」(朝倉書店, 1997, 分担執筆)他がある。趣味としてガーデニングを楽しまれるとのこと。

本稿では衣服圧計測の問題点や留意点および現在進行中の研究についてご解説いただいた。

する方法(以後流体圧法とする)である。

主観的評価法を用いると伸縮性素材の場合 $1\text{gf}/\text{cm}^2$ 前後の衣服圧の違いを識別可能である¹⁰⁾。しかし、主観的評価法は被験者の選定、評価の季節や時間の制約がある。理論計算法においても、応力緩和特性を加味した衣服素材の二軸伸長特性や各部位の曲率の計測が必要であり、歪みや張力計測は衣服素材に制約がある。加えて重ね着状態での困難さや計測準備の煩雑さがある。

一方、機器による衣服圧計測には上記問題点の解消に加えて以下の利点がある。

①比較的取り扱いが簡単である。

あらかじめ装置のキャリブレーションを行っておけば計測しようとする部位に挿入するのみで衣服圧を計測できる。

②短時間に数値として表すことが出来る。

主観的評価の場合は、比較衣服や部位との相対値であるが、機器計測の場合はPa, mmHg, gf/cm^2 などの絶対値として表すことができる。また、呼吸、動作および時間経過などによる衣服圧変化も計測できる。

③データの比較や蓄積が可能である。

流体圧法の場合小袋の大きさおよび空気量を一定とすれば再現性もよい。表1に示すように異なる流体圧法間のデータもかなりよく一致し、研究データの蓄積が可能である。

表1 異なる流体圧法による計測値の比較
(ガードル衣服圧)

単位: gf/cm^2

同一サンプルの場合

		腹部中央	臀部	大腿部前	大腿部後
A法上 ⁵⁾	試料1	6.07	11.00	10.27	10.13
(N=3)	試料2	6.27	9.63	12.23	10.87
B法上 ⁶⁾	試料1	6.51	10.19	12.04	11.20
(N=10)	試料2	7.25	10.02	11.99	11.70

評価の高いガードルの衣服圧**

		ウエストライン			腹部側面
		前面	側面	後面	
B法上 ⁶⁾	立位平均	11.03	18.93	3.78	15.45
(N=5)					
C法上 ^{8),9)}	立位最低	10.1	19.8	11.1	12.3
(N=7)	最高	11.2	20.7	11.8	13.0

** : 文献^{11),12)}より著者作成

3. 機器による衣服圧計測の留意点

前述の流体圧法についても以下の点に留意すべきである。

①計測したデータは真の衣服圧ではない。

流体圧法は、各種圧力センサーを直接衣服下に挿入する方法よりも人体の形状による影響が少なく真の値に近い衣服圧を計測できるが、真の衣服圧ではない。衣服圧が発生する場合は、人体と衣服が接触した状態であり、空気や水を封入した小袋を衣服と人体の間に挿入すると図1に示すように本来の衣服の着装状態が破壊され、真の衣服圧が検出されない。すなわち、図2に示すように小袋の空気量が多く、厚さが増すほど計測値は推定値に比べ高く表れる。また、人体の圧縮硬さが硬い場合や曲面形状が平らな状態(曲率が大きい)も小袋挿入による着装状態の破壊が大きく、計測値は推定値に比べ高くなる。

図1 小袋挿入による着装状態の破壊

そこで、流体圧法を使用する場合は、再現性のよいデータを得るため、また価値あるデータとして蓄積していくためにも、実験に先立って小袋に封入する空気量を十分確認することが大切である。圧縮硬さについては後述する。

②計測のしかたおよび計測値の確認

関¹³⁾は計測において“測定者がその測定を行うに当たり、どれほどのその測定に対する知識を持ち合わせるか。(中略)その測定がまったく不可能であるにもかかわらず、測定値だけが一人歩きし、正しく測定されているのかのごとく認識されてしまう。”と警告しているように、衣服圧計測についても同様のことがいえる。

計測値を確認する方法としてキャリブレーション(校正)がある。流体圧法の場合、空気圧や水圧変化による方法があり、この方法では、小袋が均一に圧迫されている。しかし、同一衣服圧であっても衣服圧計測時は、人体の形状によって着装状態の壊れ方が異なるため、計測値も異なる。そこで、数カ所でも理論計算法による推定値との比較検討が必要である。

衣服圧を理論的に求めるためには、曲率 $K1$, $K2$ のダブルカーバチャーをもつ人体表面を布で覆ったときの内圧 P を求める式で、Kirk & Ibrahim¹⁴⁾が用いた下記に示

図2 小袋に封入する空気量の違いによる付加水圧
または理論計算値と計測値との関係

す理論計算式がある。

$$P = F1 \cdot K1 + F2 \cdot K2$$

ここでP: 推定衣服圧(gf/cm²), F1, F2: 単位面積当たりの張力(gf/cm), K1, K2: 曲率(cm⁻¹)である。

上記F1, F2の張力を求める際には、より着装状態に近似した二軸伸長変形下での張力と時間経過に伴う応力緩和特性を考慮することの重要性が報告¹⁵⁾されている。

4. 衣服圧計測の現在の取り組み¹⁶⁾

著者は、快適衣服設計の立場から、サーマルマネキンと同様、人体にかわる衣服圧計測用ダミーの試作研究を行っている。サポートパンティーストッキングの場合、主観的な評価において大腿部、下腿部、足首部の衣服圧がそれぞれ約5, 7, 10gf/cm²であること¹⁰⁾が明らかとなり、市販ストッキングにもこの値に近い表示(3, 5, 7mmHg)も見受けられる。

そこで、ストッキング設計の際、編地の張力からの推定ではなく各部位の衣服圧、特に着心地を左右する部位の衣服圧を容易に計測できる人体に代わるダミーの試作を試みた。実験は、衣服圧レベルの異なるパンティーストッキングを用いて推定衣服圧と実測衣服圧を求め検討した。その際ダミーの受圧面の硬さを変化させた。また、ダミーに近似した人体上でも同様の実験を行い、衣服圧計測用ダミーの製作の問題点を明らかにした。

〈実験方法〉

衣服圧計測用ダミーとして既製の下半身マネキンを加工して使用した。ダミーのサイズは、JIS L4005によると成人女子9ATのサイズに近い。ダミーの圧縮硬さによる計測衣服圧の違いについても検討するため、部分的に測定部(約10cm²)の受圧面の硬さを3段階に変化させた。被覆物なしを剛体面A、ウレタンフォーム被覆を軟体面B1、ポリエステルわた被覆を軟体面B2とした。また、軟体面の厚さはB1は10gf/cm²圧縮時1.5mm、軟体面B2は2.0mmである。被覆は部分的であるため足首部の場合でも周径は大きく変化しない。また、下半身ダミーと比較するため、身体特性が下半身ダミーに近似した、21~23才の健康な成人女子3名についても衣服圧を計測した。

実験用衣服は、糸構造および衣服圧レベルの異なるパンティーストッキング4種類を用いた。各パンティーストッキングには伸び率測定のため、あらかじめたて方向に前・後ろ中心線とその中心線から左右2cm間隔に計6本、よこ方向には上の方から5cm間隔で、レッグ部のみにしるし線を入れた。

衣服圧測定は、ダミー上と人体上でそれぞれ理論計算上の推定衣服圧と実測衣服圧を求めた。衣服圧測定部位は、ストッキング設計において重要な部位である大腿部前面、下腿部後面、足首部の3部位とした。理論計算上の推定衣服圧値は、上述の理論計算式を用いた。なお、張力は試料の一軸拘束伸長特性の各特性値から予測するKageyamaらによって提案されたりニアライジング法¹⁷⁾より求めた。その際、試料の応力緩和特性についても考慮し、10⁻¹, 10², 10³秒後の推定衣服圧を求めた。実測衣服圧の測定には、エアバック方式の衣服圧測定装置を

使用した。この装置は、著者⁶⁾が開発したもので、図3に模式図を示す。衣服圧測定装置の受圧部であるエアバックは、円形3cm²のものを使用し、0.8mlの空気を封入して用いた。この時のエアバックの厚さは、1.33mmである。

図3 衣服圧測定装置

〈実験結果および考察〉

ダミー上の推定衣服圧と計測衣服圧

表2に、ダミーおよび人体上における応力緩和を加味した推定衣服圧と圧縮硬さの異なる受圧面の計測衣服圧との差を示す。表2からダミー大腿部の場合、応力緩和と時間10²秒および10³秒の推定衣服圧と軟体面上で計測した衣服圧との差が少なくなることがわかる。ダミー下腿部の結果は大腿部ほどではないものの応力緩和時間10²と10³秒の推定衣服圧と軟体面上の計測値が近似した。

すなわち、剛体の受圧面では計算による推定値に比べ、計測値が高くなることを報告⁶⁾しており、衣服圧計測用ダミーの設計においても、受圧面の硬さを考慮する必要性が示唆された。また、推定衣服圧の計算においては、応力緩和時間 $t=10^{-1}$ (sec)に比べ緩和時間10²と10³秒の張力から求めた推定値が計測値とよい一致を示した。この結果は、稲村等の報告¹⁵⁾を裏付けるものである。

人体上の推定衣服圧と計測衣服圧

人体上の推定衣服圧と計測衣服圧との差は、応力緩和

時間10²および10³秒時において大腿部、下腿部、足首部とも少なく、ダミー上の結果と比較してもよい一致を示した。これらの理由として、人体は軟体面であることが挙げられる。

ダミー上と人体上の計測衣服圧

図4は大腿部の剛体面A、軟体面B1、B2上の計測値と人体上の計測値の関係を示す。ダミー剛体面での計測値は、人体上の計測値と比較して2~3gf/cm²高い。しかし、軟体面B1、B2の計測値と人体上の計測値は、よい一致を示した。

図4 ダミー上と人体上での計測衣服圧の関係(大腿部)

すなわち、脚ダミー表面はB1からB2程度の圧縮硬さが必要であることがわかった。福山ら¹⁸⁾も動脚ダミーの開発を検討しているが、人体上に比べダミー上の衣服圧がかなり高いことから、脚ダミーの弾性の改善を今後の課題としている。

以上パンティーストッキングを用いて検討した試作下半身ダミーの使用性は、軟体面で計測した衣服圧が理論計算による推定衣服圧および人体上の計測衣服圧ともよ

表2 理論計算による推定衣服圧と計測衣服圧との差

単位: gf/cm²

応力緩和 時間(秒)	大腿部			人体	下腿部			人体	足首部			人体
	ダミー				ダミー				ダミー			
	剛体面	軟体面	軟体面		剛体面	軟体面	軟体面		剛体面	軟体面	軟体面	
	A	B1	B2		A	B1	B2		A	B1	B2	
t=10 ⁻¹	3.22	5.40	6.29	4.11	4.01	5.69	6.83	2.58	7.99	10.07	11.06	4.00
t=10 ²	-1.59	0.60	1.48	0.23	0.11	1.79	2.93	-0.67	2.80	4.8	5.87	0.74
t=10 ³	-3.19	-1.00	-0.12	-1.07	-1.19	0.49	1.63	-1.75	1.07	3.15	4.15	-0.36

い一致を示したことから、衣服圧計測用ダミーの製作に当たっては、ダミーの圧縮硬さに配慮することの重要性が実験的に明らかになった。今後は、動作時の衣服圧変動の計測が可能な可動ダミーについて、軀体部、上肢、頭部も考慮に入れ検討を進める予定である。

引用文献

- 1) 入鹿山勝郎, 女子ノ帯ニ就テ, 国民衛生, **12**, 863 (1935).
- 2) 川生實, 婦人服型ノ衛生学的研究, 国民衛生, **20**, 255-334 (1943).
- 3) 渡辺ミチ, 田村照子, 岩崎房子, 衣服圧の身体に及ぼす影響(第一報)家政誌, **23**, 325-329 (1972).
- 4) 伊藤紀子, 細砂恵子, 衣服圧測定のための圧力センサの較正式の検討, 鳥取大学教育学部研究報告自然科学, **40**, 47-61 (1991).
- 5) 衣服圧測定器解説書, 株式会社エイエムアイ (1997).
- 6) 伊藤紀子, 衣服圧計測のためのエアバック方式の使用性, 家政誌, **44**, 291-298 (1993).
- 7) 圧力測定の基礎, 日本リハビリテーション工学協会 SIG 褥そう防止装置講習会テキスト, 43 (1997).
- 8) 三野たまき, 間壁治子, 百田裕子, 上田一夫, 衣服圧測定に関する研究(第一報), 織消誌, **32**, 362-367 (1991).
- 9) 三野たまき, 間壁治子, 百田裕子, 上田一夫, 衣服圧測定に関する研究(第二報), 織消誌, **32**, 368-372 (1991).
- 10) 伊藤紀子, 竹内美枝子, パンティーストッキングの快適性と衣服圧について, 家政誌, **45**, 311-322 (1994).
- 11) 伊藤紀子, 井上真理, 中西正恵, 丹羽雅子, ガードル素材の二軸伸長特性と着用感および衣服圧, 織消誌, **36**, 102-108 (1995).
- 12) 間壁治子, 百田裕子, 三野たまき, 上田一夫, ガードルの衣服圧に関する研究, 織消誌, **32**, 424-438 (1991).
- 13) 関和雄, 計測の基礎, 東京電機大学出版 (1997).
- 14) Wm. Kirk, Jr., S. M. Ibrahim, Fundamental Relationship of Fabric Extensibility to Anthropometric Requirements and Garment Performance, *Text Res. J. USA*, **36**, 37-47 (1966).
- 15) 稲村綾子, 安井玲子, 丹羽雅子, パワーネット布の一軸拘束二軸伸長特性からの衣服圧予測, 日本家政学会48回大会発表要旨, 247 (1996).
- 16) T. Yamada, Y. yagi, S. Ikeda, N. Itoh, A New Measuring System of Clothing Pressure by Using a Body Dummy for the Evaluation of Clothing Comfort, Proceedings of the 26TH Textile Research Symposium, 43-50 (1997).
- 17) M. Kageyama, S. Kawabata, M. Niwa, The Validity of a "Linearizing Method" for Predicting the Biaxial-extension Properties of Fabric, *J. Text. Inst.*, **79**, 543-567 (1988).
- 18) 福山明子, 中元善太, 相澤淳平, 山崎信寿, ストッキングの適合感評価用動的脚ダミーの開発, 人間工学誌, **34**, 406-407 (1988).