姿勢による着衣熱抵抗の変化

西村 美加, 田辺 新一, 長谷部ヤエ

お茶の水女子大学生活科学部

Thermal Insulation of Clothing for Seated and Standing Postures

Mika NISHIMURA, Shin-ichi TANABE and Yae HASEBE

Department of Human Environmental Engineering, Ochanomizu University

The purpose of this study is to examine the effects of body posture on thermal insulation of clothing. Clothing ensembles including skirts were mainly investigated. A new thermal manikin was developed for this study. This manikin was able to change her body posture without increasing or decreasing her surface area. By changing posture from standing to seated, the total thermal insulation of clothing (I_t) was decreased by around 1.4%. The surface thermal resistance at nude (I_a) was increased by 8%. As a result, the basic thermal insulation of clothing (I_{cl}) was decreased by 14%. The main reason for the decrease of basic thermal insulation (I_{cl}) when the posture of thermal manikin changes from standing to seated was the increase of I_a at nude. The total thermal insulation of clothing for each body posture (I_{ti}), when standing and seated, were compared. The parts affected by the changed posture were abdomen, hip and thighs, and especially under the skirt of 61cm length, the knees were most affected.

(Ann. Physiol. Anthropol. 13(6): 337-343, 1994)

Key words: Thermal comfort, Clothing insulation, Posture, Thermal manikin

1. はじめに

着衣の熱抵抗についてはASHRAE (アメリカ暖房冷凍空調学会) (ASHRAE, 1993), カンサス州立大学 (McCullough and Jones, 1984), デンマーク工科大学 (Olesen, 1983)を中心に広範にわたる研究がなされている。日本でも環境要因としての気流, 着衣要因としての被覆面積(岩崎と田村, 1985), 被服間隙(笠原ら, 1988)といった様々な変数と組合わせて着衣熱抵抗が従来より測定評価されてきた。しかし, 姿勢変化が基礎着衣熱抵抗に与える影響についての研究はあまりなされていない。花田 (1979a, 1979b) は姿勢変化の影響について各身体部位における調査を行ったが, 全身

については言及していない。また, 姿勢変化の着衣熱抵抗に与える影響に関する研究にはOlesenら (1983)の論文があり, その結果から基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) は立位と比較して椅座位においては10~15%減少すると一般的に言われている。ところがこの研究においては, 作業ズボンと作業用上着という組合わせを中心とした組合わせ衣服が測定に用いられているだけである。また, ズボン組合わせ衣服とスカート組合わせ衣服のどちらの場合においても全着衣熱抵抗が立位と比較して椅座位で増加するという報告(花田, 1979a, 1979b)もある。しかし, ここでは基礎着衣熱抵抗に関しては言及していない。

アメリカ暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) などで示されているクロ値 (基礎着衣熱抵抗) は立位で測定されているが (ASHRAE, 1993), PMV (Fanger, 1970) や SET* (Gagge ら, 1971) 等の温熱感指標を計算するときは姿勢変化の影響を考慮せず値を代入することが多い。しかし、オフィスなどの実際の環境評価においては椅座位の影響を考慮すべきであろう。

そこで、本研究では姿勢変化が着衣熱抵抗に与える影響を全身及び各部位について調べることを目的とし、組合わせ衣服の中でもスカートを含む組合わせ衣服に着目して研究を行い、特に丈の長さ、布地の厚さを変化させ立位、椅座位時の全着衣熱抵抗 (I_t) 及び基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) を測定し考察を行った。立位と椅座位で体表面積を変化させずに測定することが可能なサーマルマネキンを開発し実験に用いた。

また、同じ組合わせ衣服でも着装方法が変化すれば衣服内空間の変化により着衣熱抵抗が変化することが知られている (花田, 1979b)。本研究では既製服シャツを用いて2通りの着装方法で実験を行った場合の姿勢変化の着衣熱抵抗に与える影響についても検討した。

2. 実験方法

2.1 環境条件

実験はお茶の水女子大学人間環境制御室において表1に示す条件で行った。環境制御室 (島津 SHC-060) は床全面吹き出し、天井全面吹き込みの人工気候室で、上下温度分布のない均質な環境を作ることができる。加えて、内壁内側に約10cm 空気層を設けることにより平均放射温度と空気温度が等しくなるように工夫されている。マネキンの姿勢は立位と椅座位の2通りとした。椅座位時には熱抵抗の少ないメッシュの椅子が使用された。測定には、お茶の水女子大学生生活科学部

Table 1 Experimental conditions.

Operative Temperature	26℃
Air Velocity	0.15 m/s
Relative Humidity	50%
Heater Temperature	34℃
Posture	Standing, Seated

のサーマルマネキン “茶子” を用い、各部位ヒータ温度が34℃になるよう制御した。

2.1.1 サーマルマネキンについて

本実験で用いたサーマルマネキンは熱的に19分割されており、ニクロム線を用いた内部発熱方式により、一定ヒータ温度制御をおこなっている。表2にサーマルマネキンの分割部位と各部位表面積を示す。サーマルマネキンは左右大腿と腹及び腰との間、左右大腿と左右膝との間が各々ボールベアリング方式で接続されており、それらの回転により全体表面積を変化させることなく立位及び椅座位の姿勢をとることが可能である。

Table 2 Thermal manikin (Chako).

CHAKO	
Name of Part	Area (m ²)
Head	0.1255
Chest	0.1418
Back	0.1378
Abdomen	0.0742
Hip	0.1267
Right Upperarm	0.0621
Left Upperarm	0.0599
Right Forearm	0.0360
Left Forearm	0.0375
Right Hand	0.0308
Left Hand	0.0280
Right Thigh	0.1077
Left Thigh	0.1123
Right Knee	0.0225
Left Knee	0.0227
Right Leg	0.0954
Left Leg	0.0971
Right Foot	0.0629
Left Foot	0.0636
Total	1.4454

2.2 着衣条件

衣服は襟口と袖口を閉めない長袖シャツとセミタイトスカートの組合わせとした。姿勢による着衣熱抵抗

Table 3 Clothing ensembles.

case	Textile	Length of skirt (cm)	Material of skirt	Wearing Style
0	Nude			
1	thin	61	Cotton 100%	Over*
2	medium	61	Cotton 100%	Over
3	thick	61	Wool 90%+Acrylic 10%	Over
4	thick	45	Wool 90%+Acrylic 10%	Over
5	thick	80	Wool 90%+Acrylic 10%	Over
6	thick	61	Wool 90%+Acrylic 10%	Under**

*Overblouse, **Underblouse

Table 4 Textile characteristics of skirts.

Textile	density of fiber (/cm)		Weight (g/cm ²)	Thickness (mm)	Softness (mm)	Included air rate (%)	Thermal Conductivity (W/m ² K)
	warp	woof					
thin	59.4	27.2	0.012	0.25	36	69.6	0.056
medium	28.2	21.0	0.019	0.78	39	84.6	0.041
thick	18.3	16.0	0.030	2.31	35	90.0	0.024

変化の測定に用いた組合わせ衣服のスカート素材について表3, 4に示す。厚さは荷重0.6g/cmで測定した。剛軟度は45°カンチレバー法により測定した。以下, 着衣組み合わせは表3に示した case 番号で呼ぶこととする。

上衣は全条件ともに綿100%の長袖ダンガリーシャツとし, 下衣はスカートの厚さを変化させることを主目的として綿100% (薄地, 中厚地), 毛90%+アクリル10% (厚地) のスカートとした。下着にはブラジャー, パンティーを着用させた。なお, シャツの着装は裾を下衣の中に入れない (オーバーブラウス) 方式とした。

また, シャツの着装方法による着衣熱抵抗の変化を調べるために厚地スカート (61cm 丈) の着衣条件 (case 3) において, シャツの裾を下衣の中に入れるアンダーブラウス方式 (case 6) の測定も行った。

着衣の素材は上衣では被験者実験で使用されることの多い綿100%のシャツとし, 下衣ではスカートの厚さを変化させることを主目的として綿100% (薄地, 中厚地), 毛90%+アクリル10% (厚地) のスカートを用了。

2.3 実験手順

2.3.1 マネキンによる測定

ヌード及び, 衣服を変化させた条件において, 立位と椅座位の各部位の熱損失と皮膚表面温度を測定した。椅座位時には背もたれにサーマルマネキンの背中をもたれかけさせなかった。マネキンの皮膚表面温度は銅-コンスタンタン熱電対で, 作用温度はグローブ

温度計で測定した。皮膚温度は, 19分割部位の各々1点を, 銅-コンスタンタン熱電対を用いて測定した。サーマルマネキンのヒータ温度は内表面の1点の温度で制御されているが, マネキンシエルのアルミの熱伝導性が高いので皮膚表面の温度分布は均一になるものと本研究では考えた。しかし, 今後サーマルマネキンの構造を考えた上で, 同一部位における不均一接触などが熱流や皮膚温度に与える影響については考慮する必要があると思われる。各部位熱損失と皮膚温度の体表面積重み付け平均を算出し, それぞれ全身熱損失と平均皮膚温度と呼ぶこととした。

お茶の水女子大学人間環境制御室 (島津 SHC-060) では空気温度と平均放射温度を等しく制御でき, また, 静穏気流下で測定を行ったので, 作用温度はグローブ温度計で測定された温度にほぼ等しかった。このことから, グローブ温度を作用温度として用いることとした。人間環境制御室内に曝露されたマネキンの熱損失と作用温度が安定した後の5分間平均を着衣熱抵抗の算出値として用いた。1条件につき同じ測定を3回繰り返し, その平均値を測定データとして着衣熱抵抗算出に用いた。

加えて, 姿勢変化に伴うサーマルマネキンの下肢部分 (左右大腿, 左右膝, 左右下腿) の皮膚露出面積変化量も測定した。和紙によりサーマルマネキンの露出部表面の型をとり, それを均質な紙に写し, その重量を面積に換算することにより露出面積を測定した。

2.3.2 着衣熱抵抗の算出

全着衣熱抵抗 (I_t) 及び基礎着衣熱抵抗 (I_{cl}) を(1)~(4)式により算出した。

$$I_t = (t_s - t_o) / 0.155 Q_t \quad \text{.....(1)}$$

$$I_a = (t_s - t_o) / 0.155 Q_a \quad \text{.....(2)}$$

$$I_{cl} = I_t - I_a / f_{cl} \quad \text{.....(3)}$$

$$f_{cl} = 1 + 0.3 I_{cl} \quad \text{.....(4)}$$

ここで,

I_a : 裸体時皮膚表面熱抵抗 (clo)

I_{cl} : 基礎着衣熱抵抗 (クロ値) (clo)

I_t : 全着衣熱抵抗 (clo)

Q_a : 裸体時の全身熱損失 (W/m²)

Q_t : 着衣時の全身熱損失 (W/m²)

f_{cl} : 着衣表面積比 (—)

t_o : 作用温度 (°C)

t_s : 平均皮膚温 (°C)

3. 実験結果と考察

3.1 裸体時皮膚表面熱抵抗

裸体時皮膚表面熱抵抗は立位で0.63clo, 椅座位で0.68cloであった。Olesenら(1983)の結果と同様, 裸体時皮膚表面熱抵抗は立位に対して椅座位において増加した。これは立位では椅座位と比較してマネキン表面周囲の自然対流の助走区間が長くなるためと考えられる。温度制御のために人工気候室内の気流が0.15m/sあり, 自然対流のみの場合と比較して気流が多少大きいので, 裸体時皮膚表面熱抵抗は小さめの値となったが, Olesenら(1983)の立位時の裸体時皮膚表面熱抵抗に与える気流変化影響を調査した結果から導かれた図によると気流0.15m/sのときの裸体時皮膚表面熱抵抗は立位時には0.63clo程度であり本研究における結果もほぼ妥当な値と考えられる。

3.2 スカート丈変化

スカート丈45cm (case 4), 61cm (case 3), 80cm (case 5)の着衣条件時の全着衣熱抵抗 (I_{cl}) の姿勢による変化を図1に示す。スカート丈の異なる着衣条件ごとに立位と椅座位における全着衣熱抵抗が示されている。スカート丈45cmではマネキンの立位と椅座位のどちらの姿勢においても膝が露出し, スカート丈61cmの着衣条件では立位においては膝が被覆され椅座位においては膝が露出し, スカート丈80cmでは立位と椅座位のどちらの姿勢においても膝が被覆された。

Fig. 1 Total thermal insulation of clothing for each skirt length.

図2に横から見たマネキンの下半身を模式的に示す。

立位の全着衣熱抵抗と比較して椅座位の全着衣熱抵抗が有意に減少したのはスカート丈61cmの着衣条件

Fig. 2 Length of each skirt.

であり, 減少率は4.9% (**危険率1%で有意:t検定による)であった。スカート丈45cm, スカート丈80cmの着衣条件では, 立位と椅座位の全着衣熱抵抗に有意差はみられなかった。脚部の露出面積は立位より椅座位において多く, その差は45cm丈スカートで50cm², 61cm丈スカートで570cm², 80cm丈スカートで490cm²であった。被覆面積の減少は主に一部位において起こり, その主要な減少部位の面積に対するその部位での被覆面積の立位と椅座位における差の百分率は45cm丈スカートで2%(主要減少部位は大腿), 61cm丈スカートで100%(同, 膝), 80cm丈スカートで25%(同, 下腿)であった。このことから61cm丈スカートのときに有意差が見られたのは, 61cm丈スカートでの被覆面積の差が一部位(膝)の面積において比較的広範な割合を占めたためと考えられる。

Fig. 3 Total thermal insulation of clothing (I_{ti}) at thighs, knees, and legs for case 3.

図3に61cm丈時の下肢(大腿, 膝, 下腿)部位別全着衣熱抵抗(Iti)を示す。部位ごとの立位と椅座位の着衣熱抵抗変化に関して示したものである。立位と椅座位の膝部位Itiの差は全身の差に対して25%の割合を占めていた。61cm丈時における減少に有意差があらわれたのは, 他のスカート丈条件と比較して, 膝部位Itiの減少が大きいためと考えられる。

3.3 スカートの厚変化

スカートの厚さを薄地(case 1), 中厚地(case 2), 厚地(case 3)としたスカート丈61cm, オーバーブラウスの着衣条件における全着衣熱抵抗の姿勢による変化を図4に示す。スカートの厚さの異なる着衣条件ごとに立位と椅座位における全着衣熱抵抗が示されている。

Fig. 4 Total thermal insulation of clothing for each skirt thickness.

立位と比較して, 椅座位において最も全着衣熱抵抗が減少したのは厚地スカートで, 減少率は4.9%(**危険率1%で有意:t検定による)であった。中厚地スカートでは減少率3.1%(*危険率5%で有意:t検定による)で, 薄地スカートでは有意差はみられなかった。表4に見られるように3種の布地の剛軟度はほぼ等しいので, 厚さの異なる3種のスカートを着用した場合の衣服間隙には差がほとんどないと考えられる。また, スカートの厚さの厚いものほど含気率が大きいので, 椅座による圧力がかかる場合にはスカートの熱抵抗がより減少し, 結果として全着衣熱抵抗の姿勢による変化が大きくなったと考えられる。

図5に61cm丈厚地スカートのItiを示す。立位に対

Fig. 5 Total thermal insulation of clothing (Iti) at abdomen, hip, thighs, knees, and legs for case 3.

し椅座位において, Itiは腰部で減少し, 腹部で増加している。腰部での減少は椅子の圧迫による布中の空気減少と衣服間隙の減少のために生じたことによるものと推測される。腹部での増加は, 椅座により下腹部にスカートの折しわが形成されるために衣服間隙が増え, 空気層が増加したためと考えられる。

3.4 シャツの着装変化

全着衣熱抵抗はオーバーブラウス(case 3)で立位1.10clo, 椅座位1.05clo, アンダーブラウス(case 6)で立位1.04clo, 椅座位1.02cloであった。オーバーブラウスでは立位に対して椅座位の全着衣熱抵抗は4.9%減少した。アンダーブラウスでは姿勢による有意な差はなかった。

図6(a), (b)に, 軀幹部の部位ごとのItiをシャツの着装別に示す。オーバーブラウス方式に比べアンダーブラウス方式では, スカートのウエストベルトによる締め付けによりオーバーブラウス時には接触していなかったシャツが身体に接触し, その結果, 軀幹部の空気層が減少した。このために姿勢ごとに比較するとオーバーブラウス方式よりアンダーブラウス方式において軀幹部各部位のItiが減少した。

立位に対し椅座位の胸部及び腹部Itiはオーバーブラウスとアンダーブラウスの両方式で増加した。しかし, その増加はオーバーブラウスに対しアンダーブラウスの場合により多い。オーバーブラウスにおけるこの増加は立位に対し椅座位で煙突効果が減少したためと思われる。アンダーブラウスの場合は, 立位時にはブラウスになるべく身体にフィットするようにしたが椅座位時には胸部ではウエストベルト上部でブラウス

Fig. 6 Total thermal insulation of clothing at chest, back, abdomen, and hip. (a) shows for case 3 and (b) shows for case 6.

が僅かにたるんだために空気層が増加し、腹部でも腹部下方前面に椅座による折しわができたために空気層が増加したので、椅座位におけるこれらの部位のItiがオーバブラウスより多く増加したと考えられる。腹部における折しわは、オーバブラウス時にはブラウスの裾によって覆われていたために腹部の皮膚表面から最外衣の外表面までの全体的な空気層には影響を与えなかったと思われる。

同じ着装方法においても、着せ具合により各部位及び全身の全着衣熱抵抗が変化すると考えられるが、その偏差、及び測定誤差については今後検討の余地がある。

3.5 基礎着衣熱抵抗

前項までに示したように全着衣熱抵抗は立位に対して椅座位で減少したが、逆に裸体時皮膚表面熱抵抗は立位に対して椅座位で増加した。式(3)に示したように基礎着衣熱抵抗は全着衣熱抵抗から着衣表面積比により除された裸体時表面熱抵抗を減じて算出しているので、基礎着衣熱抵抗の変化の主要因は算出に用いる裸体時皮膚表面熱抵抗(Ia)の変化である。着衣外表面の熱抵抗値に裸体時の表面熱抵抗を便宜的に用いることの妥当性については、今後検討する必要がある。

図7にcase 1~5における衣服組み合わせの基礎着衣熱抵抗(Icl)を示す。Iclの平均値は立位で0.54clo、

Fig. 7 Comparisons of Basic thermal insulation of clothing.

椅座位で0.46cloであり立位と比較して椅座位で14%減少した。本研究によるオーバブラウス時のスカート組み合わせ衣服においても Olesen ら (1983) のパンツ組み合わせ衣服と同様の結果が得られた。

4. まとめ

1) 立位から椅座位に姿勢を変化させた場合の全着衣熱抵抗 (It) は平均1.4%減少した。被覆面積の変化の大きい61cm 丈で空気層の多い厚地の組み合わせ衣服が立位から椅座位への姿勢変化に伴い全着衣熱抵抗 (It) が最も減少した。

2) 本研究の衣服組み合わせにおいて、立位時に対し椅座位時には基礎着衣熱抵抗 (Icl) が14%減少した。全着衣熱抵抗 (It) とは逆に裸体時表面熱抵抗 (Ia) は立位と比較して椅座位において増加するために、基礎着衣熱抵抗 (Icl) の減少量が全着衣熱抵抗 (It) の減少量より多くなることがわかった。すなわち、椅座位時の基礎着衣熱抵抗 (Icl) 減少の主要因は算出に用いる裸体時皮膚表面熱抵抗 (Ia) の影響である。

3) 部位別全着衣熱抵抗 (Iti) を姿勢間において比較すると、姿勢の影響を多く受けるのは腹と腰、そして大腿で、特にスカート丈61cmの組み合わせ衣服では膝であった。

謝 辞

本研究にあたり実験に協力いただいた西村恭子さん

(当時お茶の水女子大学家政学部卒論生), 久本浩子さん(同上)に記して感謝致します。

文 献

- ASHRAE, 1993: ASHRAE Handbook Fundamentals, Chapter 8.
- A.P. Gagge, J.A.J. Stolwijk, Y. Nishi, 1971: An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response, ASHRAE Transactions, 77-1, 247-262.
- P.O. Fanger, 1970: Thermal Comfort.
- E.A. McCullough, B.W. Jones, 1984: A Comprehensive Data Base for Estimating Clothing Insulation. IER Technical Report 84-01 ASHRAE 411-RP.
- B.W. Olesen, R. Nielsen, 1983: Thermal Insulation of Clothing Measured on a Movable Thermal Manikin and on Human Subjects. Technical University of Denmark. Research No. 7206/00/914.
- 岩崎房子, 田村照子, 1985: サーマルマネキンによる被服の着衣熱抵抗に関する研究(第2報)―被覆面積と熱抵抗の関係―. 文化女子大学研究紀要, 16, 231-239.
- 花田嘉代子, 1979a: 着衣の局所別熱抵抗に関する研究(第1報)―スポーツウェアについて―. 日本繊維製品消費科学会誌, 20, 273.
- 花田嘉代子, 1979b: 着衣の局所別熱抵抗に関する研究(第2報)―ワンピースウェアについて―. 日本繊維製品消費科学会誌, 20, 305.
- 笠原さつき, 岩崎房子, 田村照子, 1988: サーマルマネキンによる被服の着衣熱抵抗に関する研究(第4報)―被服の重ね枚数と熱抵抗との関係―. 文化女子大学研究紀要, 19, 9-18.
- (1994年2月7日受付)
- (1994年9月7日受理)

西 村 美 加
Mika NISHIMURA

〒112 東京都文京区大塚2-1-1 お茶の水女子大学生生活科学部
Department of Human Environmental Engineering Ochanomizu University, 2-1-1
Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112