

# サーマルマネキンによる被服の熱抵抗に関する研究 (第2報)

## —被覆面積と熱抵抗との関係—

岩崎 房子\* 田村 照子\*\*

### Studies on Thermal Resistance of Clothing by Thermal Manikin (Part 2)

#### — Relationship between Clothed Area and Thermal Resistance —

Fusako Iwasaki Teruko Tamura

## I 緒 言

被服の熱抵抗が、被服材料の熱抵抗のみならず、被服の形態や着装方法によって左右されることは、日常我々がよく経験するところである。しかし、これら形態や着装要因と、着装状態における被服の熱抵抗との関係を系統的かつ定量的に把握した研究は殆んど見当たらない。入鹿山<sup>1)</sup>は、クーロメータという一種の発熱円筒に、試料をきっちり巻きつけた場合よりも、ゆとりを持って巻きつけた場合の方が熱抵抗大なることを、また円筒を回転させ、開口部の方向が上向の場合最も熱抵抗が小となることを明らかにした。また渡辺<sup>2)</sup>は、サーモインテグレータを改良した平板装置を用いて、被服下のゆとりによって熱抵抗の極大値が存在すること、被覆面積と熱抵抗との関係は無風時には殆んど直線関係を示すのに、有風時には、被覆面積75~100%の範囲で熱抵抗の増加が著しいこと等を明らか

にした。これらの業績は、現在の被服衛生学の多くの文献及び小中高等学校の教科書や指導書にも引用され、着装指導上の指針とされているが、いずれも試料片を用いたモデル実験の結果である。ここに、実物大の被服による追試・検討が強く望まれている。一方、三平<sup>3)</sup>、稲垣<sup>4)</sup>、花田<sup>5)</sup>らは、実物等身大のサーマルマネキンを用いて、被服の重ねや、形態、空気層の効果等が着装時の被服の熱抵抗に及ぼす効果を検討し報告した。しかし、これらのうち、稲垣は和服のゆかたを対象としたものであり、また、三平、花田らは市販のワンピースや下着、スポーツウェア等を対象としている為、材質、ゆとり、形態等の各種要因が複雑に関与した結果となり、各要因と結果との間の定量的関係を系統的に把握するには至っていないように思われる。

以上の観点から、本研究は、被服の熱抵抗を左右する各要因と熱抵抗の関係を実物大被服を用いて検討しようとするものであるが、その際特に、特定要因以外の要因については、できる限り一定の条件となるような実験被服を設定、製作することに留意し、本学設置の温風循環方

\* 本学講師 被服衛生学

\*\*本学助教授 被服衛生学

式サーマルマネキンによる熱抵抗測定結果と、その特定要因間の一元的関係を把握したいと考えた。

本報においては、被服の熱抵抗を左右する最大の要因と考えられる被覆面積を特定要因として実験し、検討を加えた。

## II 実験方法

### (1) 環境温度条件

測定は、人工気候室内で行った。測定時の環境温度条件は、気温 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、気湿 $50 \pm 10\%$  RH、気流 $15 \pm 5 \text{ cm/sec}$ 、有効放射温度 $0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ とした。

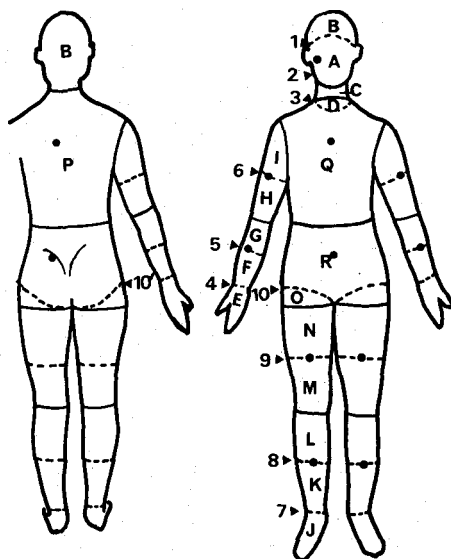
### (2) 実験被服

実験被服は、厚手の毛100%市販毛布を用いた、被覆面積及び被覆部位を自由に变化させることの出来る密着型被服である。試料の主な諸元は Table 1 に示す通りである。被覆面積及び被覆部位を变化させるための分割数は、マネキンの分割数13部位を基準とし、さらに Fig. 1 の破線で示される10の分割線で区切った計26分割とした。

被覆面積は、Fig. 2 で示す様にマネキン体表面を各分割部位毎に不織布を用いて採取し、これを方眼紙上に平面展開した後、その面積をプランメータを用いて測定した。密着被服の製作にあたっては、先の不織布展開パターンを用い、縫代は重ね効果及び空気層の効果を消去するために外側に向けダーツ部分、分割線の部分はつ

Table 1 Characteristics of the material

Material		Thickness cm	Weight g/cm <sup>2</sup>	Density/cm		Thermal insulation %	Air per- meability cm <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> ·sec	Air bolume %	Moisture regain %
				Warp	Woof				
Blanket	Wool 100%	0.44	0.022	14	17	81.7	67.0	96.0	7.78



1. border of the hair
2. border line between face and neck
3. neck-base line
4. wrist line
5. 1/2 forearm line
6. 1/2 upper arm line
7. ankle line
8. 1/2 leg line
9. 1/2 thigh line
10. inguinal line
- 10'. sulcus gluteus line
- measuring points of surface temperature

Fig. 1 Divisional lines of experimental garments and measuring points for the surface temperature

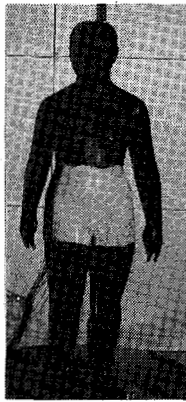


Fig. 2 Measurement of the body surface area by using non-woven fabric

Table 2 Experimental garment's No. and the clothed parts.

garment	Clothed parts
No. 1	whole body
No. 2	B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 3	C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 4	D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 5	E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 6	F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 7	G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 8	H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 9	I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 10	J, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 11	F, G, H, I, K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 12	F, G, H, I, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 13	F, G, H, I, M, N, O, P, Q, R,
No. 14	F, G, H, I, N, O, P, Q, R,
No. 15	F, G, H, I, O, P, Q, R,
No. 16	K, L, M, N, O, P, Q, R,
No. 17	L, M, N, O, P, Q, R,
No. 18	M, N, O, P, Q, R,
No. 19	N, O, P, Q, R,
No. 20	O, P, Q, R,
No. 21	P, Q, R,
No. 22	Q, R,
No. 23	O, R,
No. 24	R,
No. 25	E, F, G, H, I, J, K, L, M, N,
No. 26	Nude

き合せ縫いにし、隙間ができない様に細かくとじ合わせた。設定した被覆形態及びその被覆面積は Fig. 3 の通りであり、それらの被覆部位を Table 2 に示す。

### (3) 測定方法

#### 1) サーマルマネキン

第1報で詳述した温風循環方式サーマルマネキンを使用し、その制御方式は定入力制御とした。マネキン各部位の供給熱量 ( $Q$ : kcal/m<sup>2</sup>·hr) は裸体ではほぼ快適と言われている気温 28℃のときの成人女子裸状時皮膚温分布を示す様にあらかじめ調整した\*。

#### 2) 測定項目及び方法

測定項目は、マネキン各部位の表面温度及び同部位近傍の気温、マネキン内部の供給熱量チェックのための電流、電圧である。マネキン表面温度測定部位は、マネキン分割部位の平均表面温度出現域内であり\*\*、その測定点は Fig. 1 の様である。表面温度及び気温はサーミスタ温度計 (宝工業KK, HD111型) で測定した。

全身の熱抵抗値  $\bar{R}_{CLO}$  及び部位別の熱抵抗値  $R_{CLOi}$  は次式により算出した。

$$\bar{R}_{CLO} = \{(\bar{T}_s - \bar{T}_a)_{CL} / \bar{Q} - (\bar{T}_s - \bar{T}_a)_N / \bar{Q}\} / 0.18$$

$$R_{CLOi} = \{(T_{si} - T_{ai})_{CL} / Q_i - (T_{si} - T_{ai})_N / Q_i\} / 0.18$$

ここで、 $T_s$ ,  $T_a$  はマネキン加温150分から180分の30分間、5分毎に測定した部位別表面温度及び同気温の平均値である。 $\bar{T}_s$  は平均皮膚温、 $\bar{T}_a$  は平均気温、 $\bar{Q}$  は平均供給熱量を表わすが、いずれも各部位の皮膚温、気温、供給熱量に部位の面積比で重みづけした、いわゆる重みづけ平均である。添字の CL は着衣時、N は裸状時、 $i$  は各部位を表わす。なお、異った着衣条件の熱抵抗を連続して測定する場合には、測定と測定の間でマネキンを裸状にし、60分間の冷却期間を置いた。

測定は各条件ランダムに2回繰り返し行った。

\* 第1報 Table 2,

\*\* 第1報 Fig. 5

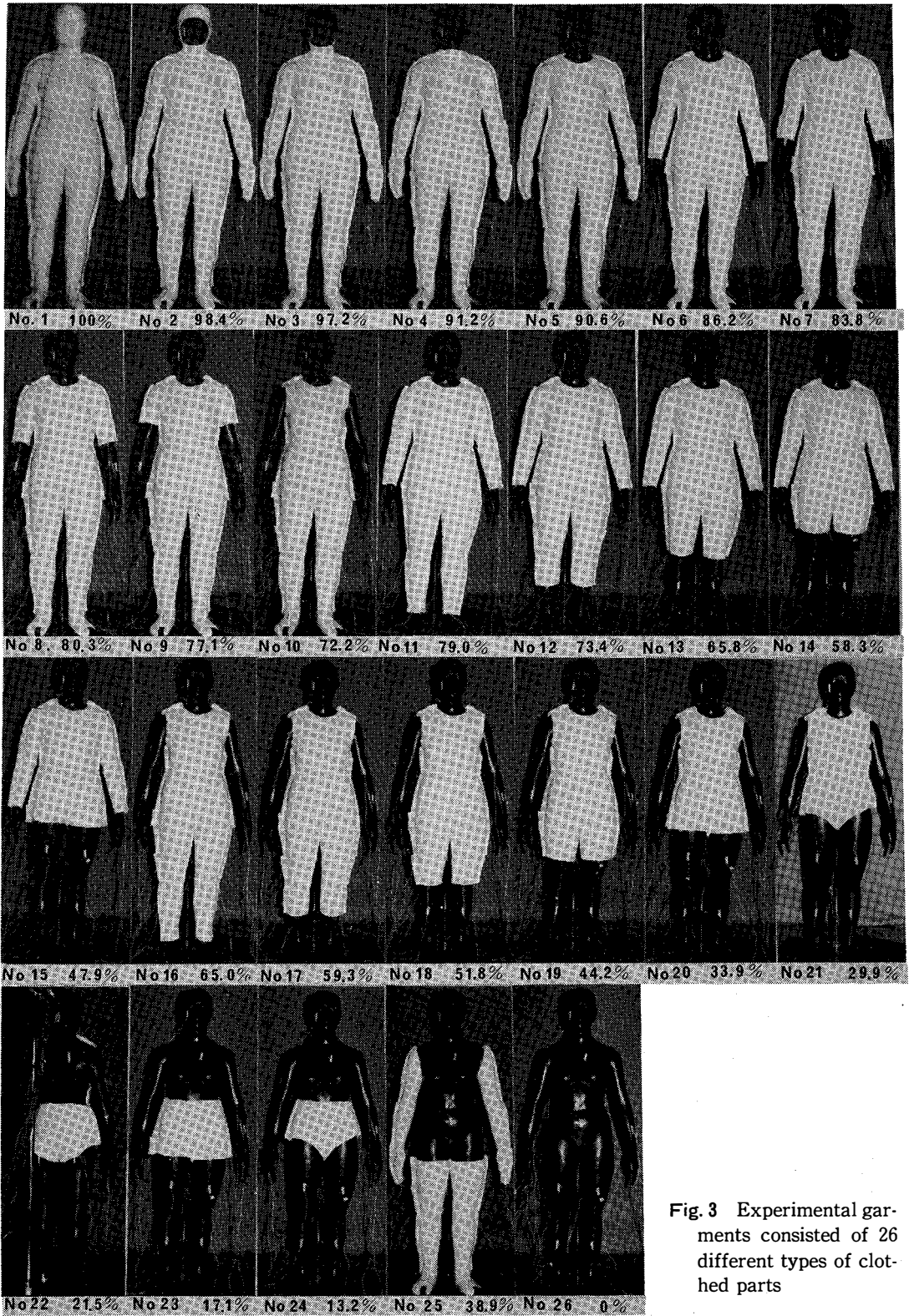


Fig 3 Experimental garments consisted of 26 different types of clothed parts

Table 3 Thermal resistance of each part of the body and the whole body in each experimental garment

Body part Garment's No.	head	chest	back	abdomen	buttock	upper arm	fore arm	thigh	leg	whole body
No. 1	0.65	0.87	0.82	0.80	0.56	1.48	1.12	1.19	0.97	0.95
No. 2	0.16	0.67	0.62	0.60	0.41	1.15	0.96	0.95	0.80	0.71
No. 3	0.07	0.67	0.66	0.69	0.45	1.24	0.96	1.06	0.88	0.76
No. 4	0.13	0.70	0.69	0.70	0.49	1.35	1.02	1.09	0.89	0.79
No. 5	0.12	0.68	0.69	0.74	0.50	1.34	1.00	1.11	0.94	0.81
No. 6	0.00	0.54	0.59	0.73	0.46	0.94	0.47	0.97	0.90	0.65
No. 7	0.07	0.62	0.71	0.73	0.48	0.98	0.29	1.01	0.94	0.70
No. 8	0.07	0.59	0.66	0.75	0.50	0.88	0.10	1.08	0.93	0.68
No. 9	0.05	0.56	0.53	0.69	0.46	0.56	0.02	1.07	0.91	0.62
No. 10	0.01	0.36	0.49	0.57	0.38	-0.02	-0.07	0.92	0.77	0.49
No. 11	-0.04	0.44	0.56	0.55	0.38	0.89	0.44	0.84	0.53	0.51
No. 12	-0.02	0.52	0.60	0.57	0.38	0.94	0.46	0.80	0.24	0.46
No. 13	0.02	0.63	0.67	0.78	0.54	1.03	0.52	0.91	0.10	0.52
No. 14	-0.01	0.43	0.54	0.44	0.26	0.87	0.45	0.37	-0.09	0.27
No. 15	0.07	0.62	0.62	0.57	0.29	1.06	0.57	0.10	-0.01	0.32
No. 16	-0.04	0.50	0.51	0.64	0.45	0.12	-0.04	0.88	0.55	0.44
No. 17	0.06	0.54	0.56	0.65	0.43	0.14	-0.06	0.90	0.37	0.43
No. 18	0.00	0.47	0.46	0.54	0.38	0.11	-0.03	0.69	0.04	0.29
No. 19	0.05	0.45	0.44	0.48	0.29	0.10	-0.07	0.40	-0.03	0.21
No. 20	0.04	0.50	0.49	0.44	0.31	0.15	-0.06	-0.00	-0.04	0.16
No. 21	-0.01	0.44	0.39	0.24	0.09	0.04	-0.04	-0.11	-0.02	0.08
No. 22	-0.04	0.40	0.01	0.27	0.11	0.06	-0.01	-0.06	0.02	0.08
No. 23	0.05	-0.10	-0.06	0.32	0.15	-0.16	-0.07	-0.08	-0.08	0.03
No. 24	-0.15	-0.16	-0.12	0.12	0.00	-0.12	-0.01	-0.06	0.01	-0.07
No. 25	-0.18	-0.12	-0.01	-0.03	-0.08	0.87	0.92	0.70	0.79	0.37
No. 26 *	(1.00)	(0.96)	(0.76)	(0.92)	(0.81)	(1.33)	(0.89)	(1.06)	(0.67)	(0.92)

\*は、裸状時の実測値であり、No. 1~No. 25は、それぞれの実測値よりNo. 26を引いた値である。(Clo)

### III 結果及び考察

部位別熱抵抗値及び全身熱抵抗値の結果は、Table 3 に示す通りである。2 回繰り返しの結果は  $0.12 \pm 0.08$  clo の僅かな差を生じたが、傾向は類似していたので、ここでは 2 回の平均値が示されている。

#### (1) 熱抵抗値の部位別プロフィール

Fig. 4 は主たる着衣を例に、100%被覆時の部位別熱抵抗プロフィールを細線で、No. で示した着衣条件のそれを太線で示し、両者の差（両線の間）を表示したものである。これにより各着衣の熱抵抗の特徴を観察すると次の通りである。

No. 1 全身被覆したときの熱抵抗は、0.95 clo である。部位により  $0.56 \sim 1.48$  clo の変動を示し、全身を均一に覆っているにもかかわらず、clo 値が低い体幹部と高い四肢部に類別することができる。(Fig. 4 の No. 1 参照)

体幹部が四肢部より低い理由としては、体幹部は頭部、肩部、腰部など放熱量の多いと言われる上向への放熱面を持っていること、また、体幹部の設定温度が四肢部に比べて高いため、 $T_s - T_a$  が大きくなり、他の部位に比べて放熱量が大きいこと、さらに、設定温度の高い部位から低い上・下肢部への熱移動があるであろうこと等が考えられる。一方、全身の平均 clo 値より大きい値を示す四肢部では、上腕・大腿において放熱面の対向による放射放熱の抑制が考えられる。特に上腕部では、上腕内側面が、より設定温度の高い体幹部に対向・接近しているため、体幹部放射放熱を受入し、見かけの clo 値の著しい上昇をきたしたと考えられる。また、さらに、上腕部については、実験に用いた被服地が厚手であるため、上腕内側面の上方が体幹部と殆んど接触した状態を呈している。このために体幹部、上腕部共見かけ上の放熱面積が減少するが、

その減少面積比が上腕部の方が大であるため、上腕部の clo 値が大きくなったものと考えられる。

No. 2 顔面部を露出することにより、頭部の clo 値は 0.16 と急激に減少し、他部位は No. 1 のときより約 0.2 clo の低下がみられる。

No. 3, No. 4, No. 5 頭・頸部の被覆面積を変化させることにより頭部 clo 値は減少しているが 0 にはならない。他の部位は No. 2 と同様である。(Fig. 4 の No. 5 参照)

No. 6 前腕部の clo 値は、0.47 clo であり、手部を露出することにより No. 5 の約 53% の低下がみられる。他の部位は、Fig. 4 の No. 6 で示される様に上腕、胸、背、大腿部で減少がみられる。

No. 7, No. 8 前腕部の被覆面積の減少により前腕部 clo 値は 0.29, 0.10 と低下するが、他部位は No. 6 と殆んど同じである。(Fig. 4 の No. 8 参照)

No. 9 上腕部を  $\frac{1}{2}$  露出することにより、前腕部 clo 値は殆んど 0 となり、上腕部の clo 値は 0.56 clo を示した。

No. 10 上肢部を 100% 露出した場合、頭部、上腕部、前腕部の clo 値は殆んど 0 である。体幹部、大腿部の減少がみられる。(Fig. 4 の No. 10 を参照)

No. 11, No. 12, No. 13 No. 6 の結果と殆んど同じで、下腿部被覆面積の減少により、下腿部の clo 値は 0.53, 0.24, 0.10 clo と低下している。

No. 14, No. 15 腹、腰、大腿、下腿部 clo 値の低下がみられる。(Fig. 4 の No. 15 参照)

No. 16, No. 17, No. 18 下腿部の clo 値は 0.53, 0.37, 0.04 と次第に低下するが、他の部位は No. 10 の結果と殆んど同様である。No. 18 で大腿部の低下が僅かにみられる。(Fig. 4 の No. 16, No. 18 参照)

No. 19, No. 20, No. 21 大腿部の clo 値は、0.4, 0.00,  $-0.11$  と低下している。No. 20, No. 21 において腹、腰部の低下が大きい。

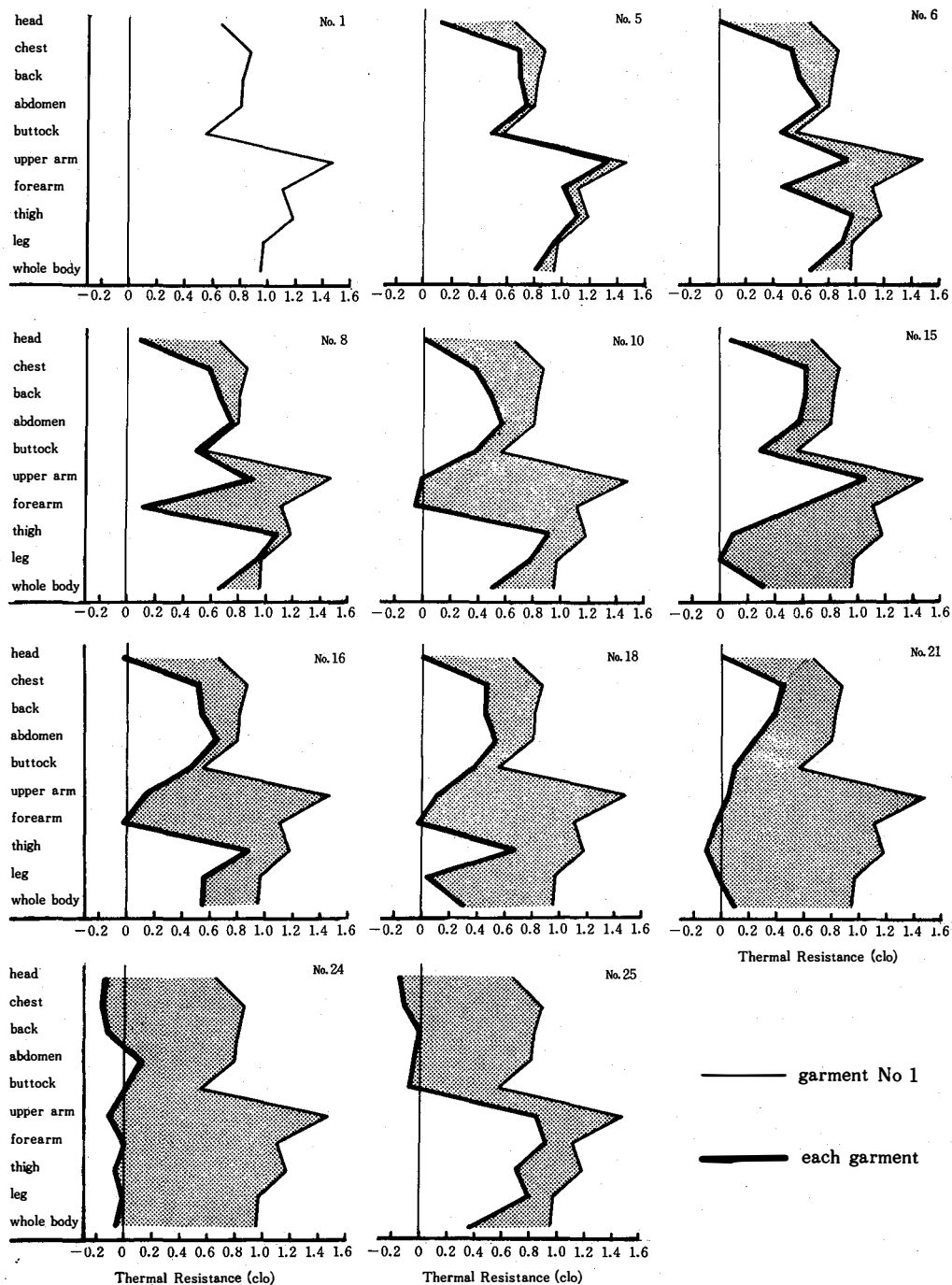


Fig. 4 Thermal resistance profiles of the typical 11 types of experimental garments

(Fig. 4のNo. 21 参照)

No. 22 被覆されている胸, 腹, 腰部の clo 値は, それぞれ0.40, 0.27, 0.11 clo であり, 露出部位は殆んど0である。

No. 23 腹部 clo 値は0.32, 腰部の clo 値は0.15で他の部位及び全身 clo 値は殆んど0である。

No. 24 腹部, 腰部の被覆部位がソケイ部まで露出することにより clo 値は減少し, 腹部において0.12 clo あるものの他部位及び全身 clo 値はマイナスを示した。(Fig. 4のNo. 24 参照)

No. 25 被覆されている四肢部の clo 値が, 1.0clo で大きく, 露出している体幹部の clo 値は-0.10clo と小である。(Fig. 4のNo. 25 参照)

以上の結果より, 被覆面積, 被覆部位を変化させたときの熱抵抗の部位別プロフィールをまとめると以下の様である。

露出した部位の熱抵抗値は, 急激に減少し, 殆んど0近くまで低下する。しかし, 部位によっては, 被覆面積, 被覆部位の違いにより0にならない場合もあり, 熱の波及効果の存在することがうかがえる。特に, 上肢・下肢部露出時においてこの傾向は顕著である。また, 隣接する部位の露出による影響を受け, clo 値の低下がみられる部位がある。特に, 胸, 背, 腹, 腰部の体幹部では, 頭・頸部, 上腕部, 大腿部の被

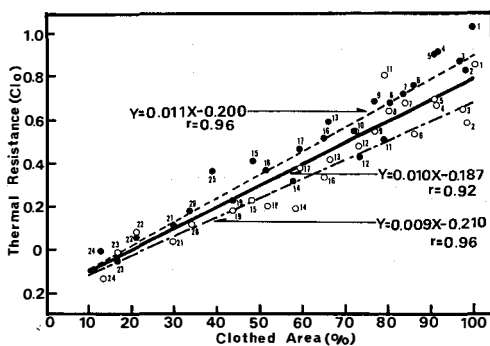


Fig. 5 Relationship between clothed area (X) and thermal resistance (Y)

覆面積の減少による clo 値の低下が認められる。結果としては, Fig. 4のNo. 21とNo. 25で示される様に, 体幹部を被覆して, 四肢部を露出した場合 (No. 21)はその反対の場合 (No. 25)に比べて, 全身被覆時 clo 値からの低下度が大きいである。

## (2) 被覆面積と熱抵抗値との関係

Fig. 5は, 被覆面積と全身の熱抵抗値との関係を表わしたものである。両者の間には, 1回目,  $Y=0.011X-0.20$  ( $r=0.96$ ), 2回目,  $Y=0.009X-0.21$  ( $r=0.96$ )と各々非常に高い相関関係が認められ, 被覆面積が増加するに従って熱抵抗値が増大する傾向を表わしている。繰り返しの結果は, 被覆面積の大きい条件の場合に差を生じるが, 回帰式における回帰係数, 切片共に2式には有意な差は認められないために, 両者をプールして回帰式を求めると,  $Y=0.01X-0.187$  ( $r=0.92$ )のよい直線関係が認められた。被覆面積と clo 値との関係について, 渡辺は平板装置を用いて実験し, 無風時の場合, 両者間にはほぼ直線の比例関係があると報告しており, 今回の結果とよく一致している。また, 田村<sup>6)</sup>は, 既製の単品被服について, マネキンを用いた実験を行ない, 両者間には $Y=0.004X-0.074$  ( $r=0.86$ )の直線関係のあることを報告している。今回の結果の方が, 相関係数がやや大きい, このことは, 今回用いた実験被服が被服下空気層, 重ね, 素材などの要因の影響を消去し, 全身同一の厚さで密着させ, 被覆面積のみを変化させた状態で測定したことによるものと思われる。

次に, 被覆部位と全身の熱抵抗との関係についてみると, 同様の被覆面積(例えば, Fig. 5のNo. 8とNo. 11, No. 10とNo. 12を比較)では, 下肢部被覆の場合の方が clo 値が僅かに大きい傾向がみられ, 有意な差ではないが, 下肢部被覆の保温効果が大きいことが示唆された。

以上, 被覆面積が被服の熱抵抗を決定する極めて重要な要因であることが確認され, その量的関係を把握することができた。特に, 今回使



用した実験被服は、保温性の高い厚手毛布であったため、被覆面積の効果が顕著に現われたものと思われる。今後は、今回の結果を踏まえ、さらに、一般に用いられている各種被服材料を用いた場合にも、今回と同様の被覆面積効果が得られるか否か、また、材料の諸特性と被覆効果との相互関係についても検討の必要がある。また、本実験は、無風時について行ったが、渡辺は、有風時において、100%被覆に対して、僅かな被覆面積の減少が被服全体としての熱抵抗を著しく左右すると報告している。著者らも円筒モデル(BK式保温性試験器)を用いて、試料片に一定の大きさの穴をあけ、その穴の数で被覆面積を変化させ、無風時と有風時について保温性測定を行ったところ、両者間には異った傾向が示された。この様に、風は被服又は、皮膚表面上の静止空気層の保温効果を著しく減少させ、さらに、被服材料内部の繊維間隙に含まれる空気層にも大きく影響するため、同じ被覆面積であっても無風時とは異った熱抵抗を示すことは容易に推察できる。有風時下の検討も今後に残された問題である。また、今回の結果から、同様の被覆面積であっても、部位によりその効果が相違することが示唆された。これは、放熱面の形状や方向の差異によるものと思われるが、また、マネキン各部の熱絶縁の問題とも考えられ、被覆部位の組み合わせを細かく変化させて、さらに検討を加えると共に、この点に関しては、感覚をもつ生体での着用実験結果とも対照させながら考察を加えてゆきたいと考える。

## IV 要 約

被覆面積、被覆部位を自由に變化させることのできる密着型被服を厚手市販毛布で作製し、サーマルマネキンにより、被覆面積と熱抵抗との関係及び被覆部位による他部位への波及効果について検討した。主たる結果は次の通りである。

1) 被覆面積(X)が増加するに従って、熱抵抗(Y)は増大し、両者間には $Y=0.01X-0.187$  ( $r=0.92$ )の関係が成立した。

2) 同様の被覆面積であっても、下肢部を被覆した場合と上部部を被覆した場合では、全身の熱抵抗に差がみられ、下肢被覆の効果がやや高いことが示唆された。

3) 被覆面積及び被覆部位の違いにより、他部位への熱の波及効果が存在し、その結果、部位別熱抵抗値が、隣接する部位の露出に影響を受ける場合が認められた。

試料をご提供いただいた西川産業KK並びに実験にご協力いただいた本学卒業生笠原さつき氏に感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 入鹿山勝郎：国民衛生，11 p. 1185 (1934)
- 2) 渡辺ミチ：衣服衛生と着装 同文書院 (1978)
- 3) 三平和雄，他：家政誌，28 p. 216 (1977)
- 4) 稲垣和子：神戸大医学部紀要，40 p. 157 (1979)
- 5) 花田嘉代子：織消誌，20 p. 273 (1979)
- 6) 田村照子：昭和58年度文部省科学研究費報告書 (1983)