衣服用布の冷温感と熱吸収特性との関係について

京 都 大 学 工 学 部 川 端 季 雄 (会 員)

岡 山 就 実 短 期 大 学 赤 木 陽 子 (")

Relation Between Thermal Feeling and Thermal Absorption Property of Clothing Fabric.

Sueo Kawabata* and Yoko Akagi**,

* Department of Polymer Chemistry, Kyoto University, Kyoto.

** Department of Clothing Science, Shujitsu Junior College, Okayama.

Abstract

There must be a close relation between warm feeling and thermal absorption property of fabrics. The warm feeling is felt at the moment when a part of finger skin touches the surface of the fabrics. In order to measure the heat absorption of fabrics, an apparatus has been developed, by which the transient property of the heat absorption can be measured. Twenty samples of woven fabrics for men's outerwears are measured about their heat absorption properties. On the other hand, the warm feeling is assessed for each of all the samples by six experts in hand evaluation and the all samples are ranked in order of warm feeling. Then, the inter relation has been investigated between the heat absorption properties and the warm feeling. It is concluded that the heat absorption property of fabrics is characterized by the maximum absorption rate of heat flow, $q_{\max}$, and that $q_{\max}$ is closely related to warm feeling of fabrics.

(Received September 4, 1976)

摘 要

目 的 布に皮膚が触れた瞬間に感じられる接触冷温感と、布の熱吸収特性の関係を調べるために、布の熱吸収特性の過渡特性を測定する装置を試作し、20種類の男子用外衣服地を用いて布の過渡的熱吸収特性を測定する。また一方で布の風合い判定の熟練者6人によりそれらの布の接触時の冷温感の判定を行ない、その判定順位と熱吸収特性との関係を点検する。

結 果 過渡的な熱吸収特性を、接触直後の最大熱流速度 $q_{\max}$ 値で代表させた。同種繊維、同種織物の比較において $q_{\max}$ 値と温感の順位とは密接に関係することが認められた。また定常流での熱伝導率は関係しないように思われる。

(昭和51年9月4日受理)

1. 結 言

被服用布地に人体が接触したとき、接触時に皮膚が感じる冷感・温感は布によって著しい差がある。布に皮膚が触れた瞬間、または触れた直後の極めて短時間内に感じられる接触冷温感は、体温が布に吸収される過渡的な熱移動現象（以下これを布の熱吸収という）が密接に関係しているとみなせる。このような接触冷温感が衣服の

表面感覚を通して人間の生理的な面にも影響をもつが、また布に対する嗜好性の触感や着心地を通じて案外大きな影響を与えている。例えば夏服には冷感が好まれるなどその一例である。

このため、冷温感との関連で布の熱移動特性を測定した研究はこれまでに多い^{3), 4), 5), 7), 8), 9)}。Hockらの研究⁸⁾は冷温感を布の表面の有効接触面積との関係の重要

性を指適しているが、これについて、Hollies らは⁹⁾、Rees⁹⁾ らの2枚の熱板を用いた定常熱移動特性の測定実験中に現われる接触初期の熱板温度の降下現象のみをとりあげ、接触時の布の熱吸収速度が、起毛した布とそうでない布、レーヨン フィラメント糸で織った布とレーヨン紡績糸の布とらの間に顕著な差のあることを定量的に示し、表面状態がこの冷温感に関係することを示している。

こうした布の冷温感は衣服用の布にとっては重要な性質の一つと思われるが、布の生産技術者は手触りによってこの性質を調べており、特に仕上関係の熟練技術者はこの性質のわずかの差も適確に判断している。もちろん、レーヨン フィラメント糸の布とレーヨン紡績糸のそれとでの冷温感の差は熟練者でなくとも一般人で容易に判別がつく。しかし現実には一般人でも経験するように、たとえば起毛しない梳毛糸のスーツ用布地にかざっても冷温感の差があり、生産工場では厳しく判定している。この差を確実に判別することは一般人にはむずかしく、指適されてよく注意すると感じられる差である。しかしこのような繊細な差を熟練技術者が判断しなければならぬのは、基本的には一般人も反応しうる差であるためと思う。一般人は、あらたまって2つのどちらが冷たいかという判断を迫られるとむずかしいが、ただ一つ触ったときの直感で冷たさを感じる敏感さがあるということ、それに冷温感が布の他の性質、風合いに関わり、複合的に風合いを変化させる性格の感覚であり、こうした複合効果は一般人の消費者も感覚的に反応し得るということなどが、一般人の敏感さであると著者は考える。しかし熟練者はこうした一般人の敏感さを、ある程度客観的に把握し、製品の判断をしなければならない要請を受ける。これが冷温感についての熟練者の判断に関する著者らの考えである。

本研究は、こうした熟練者の冷温感判断を一般人が布に対してつ冷温感判断を代表する判断とし、その敏感さと確実さを利用する。そしてこの冷温感に、布の熱移動特性がやはり関与しているのかどうか検討するとともに、熱移動特性の測定値がそうした判断を代理できるかどうかという実用的データを得る基礎研究である。

なお、熱移動特性の測定については、布の過渡および定常熱移動を測定し、特に過渡特性では、熟練者の判断が接触後1～3 secに感じる感覚に基づくことのため、応答の速い熱板温度降下方式の測定装置を試作し、定常熱移動装置も簡単な構造のものを精度に留意して試作し、測定実験に用いた。両方式は一式の装置の併用により実施できるようにした。いずれの方式も原理はもちろん既知の物理測定法である。

図1(a) 過渡的熱移動測定装置の断面図

図1(b) 図1(a)に示した装置からの信号処理

2. 熱移動特性の測定理論

ここで扱う熱移動特性については、すでに述べたように過渡的熱吸収速度と定常熱伝導率の2つである。いずれの測定法も原理は一般的な物理量測定法の一つであるが、ここでは記号の定義として簡単に示しておく。

2.1 過渡状態における布の熱吸収

接触冷温感は、布が皮膚に触れた直後に体温が布へ吸収される（通常室温においては外界温度すなわち布の表面温度の方が皮膚温よりも低い）吸熱現象が関係すると仮定し、体温が布へ吸収される際の熱移動を図1(a)に示すような装置により模擬した。熱量 Q_0 cal, 温度 T_{p0} を与えた薄い銅板（以下これを熱源板と呼ぶ）を試料に接触させたとき、試料に吸収される熱量の過渡的变化を熱源板の温度変化を測定することにより求める。

いま、表面が一定温度に保たれた試料台に試料をのせる。試料台の温度は室温と等しくし、かつ試料の温度もこれに等しくする。この試料の上に試料よりも温度の高い熱源板をのせ、その時刻 $t=0$ から時刻経過とともに熱源板から布へ吸収された熱量 $Q(t)$ は、以下のようになる。

記号

- A : 熱源板の面積 (cm^2)
- M : 熱源板の質量 (g)
- C : 熱源板の比熱 ($\text{cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$)
- $Q(t)$: 時刻 t までの熱源板の放熱量, (熱源板が布によって吸収された熱量) (cal)
- $q(t)$: 単位面積当たりの熱吸収速度
 $= 1/A (dQ(t)/dt)$ (cal/sec, cm^2)
- $T_p(t)$: 熱源板の温度 ($^\circ\text{C}$)

T_B : 試料台の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

$T(t)$: $=T_P(t=0)-T_P(t)$, 熱源板の温度低下 ($^{\circ}\text{C}$)

まず t における熱源板の降下温度は、いま熱源板の温度を均一と仮定し (熱源板の熱応答時間を無視できるとすることを仮定する (付録参照)).

$$T(t) = Q(t)/MC \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{また } Q(t) = A \int_0^t q(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (2)$$

であるから

$$T(t) = \frac{A}{MC} \int_0^t q(\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots (3)$$

また一方 $q(t)$ は

$$q(t) = -\frac{MC}{A} \cdot \frac{dT(t)}{dt} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。以下で $q(t)$ を $T(t)$ の測定により求め各種材料の $q(t)$ と冷温感の関係を調べる。

ここで $Q(t)$ と $q(t)$ の測定例を図2に示すが図のように $q(t)$ には例外なく最大値 $q_{\max}$ が現われることが明らかになった。この値は接触後約 1~3 sec の間に現われる。これは後述するように触って得られる冷温感に対応する時間と考えられること、および微分回路により人為的誤差なく定量できることからこれを最大吸収速度として吸収速度の代表値とした。

2.2 定常状態における熱伝導特性

定常状態における布の熱伝導特性は、2枚の銅板に布をはさみ、1つの銅板を熱板としてこれに電熱線を挿入し発生する熱量 Q_S cal 2枚の銅板の温度差を、定常状態において測定することにより求めた。 k を試料の熱伝導率、 A を試料の面積、 d を試料の厚み、 ΔT を試料の両面の温度差とすると

$$k = -\frac{Q_S \cdot d}{A \cdot \Delta T} \quad \dots\dots\dots (5)$$

実際には図4のように2枚の試料を用いた。また

図2 $T(t)$ と $q(t)$ の記録例

図3 図1の装置の外観

$$K = \frac{k}{d} = \frac{Q_S}{A \cdot \Delta T} \quad \dots\dots\dots (6)$$

を伝導定数として特に定義した。これは試料の厚みを考慮せず、熱移動量の絶対値に直接関与する量を扱いたいためである。

3. 実験

3.1 熱移動測定装置

図1と図4に試作した装置を示す。図1は過渡特性測定装置、図4は定常特性測定装置である。図3は図1の装置の外観で、まず過渡特性測定装置から説明する。熱源板には $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 、厚さ 0.15cm の銅板を使用した。これは Hollies⁹⁾ らの用いた寸法 (0.5cm 径円板ブロック、重量 1.10 g) に比較すると面積で約46倍、厚みで 1/4 に偏平化した寸法となっている。これは初期温度降下を拡大し、微分操作時の誤差を生むノイズ効果を極力避けるために必要であった。さらに、熱板内の温度均等の条件 (前述した仮定) を 0.1~3 sec 以内に満足させるのにも必要な寸法として計算されるからである (付録参照)。試料に接触する側とは逆の面に薄い温度検出用抵抗線ゲージを貼り、さらに空気中への熱放散による熱損失を防ぐため試料に接触する面以外は断熱材発泡ポリスチレンで覆った。また試料はその温度を一定に保つために、銅薄板製の試料台にのせた。試料台の内部は一定温度 (室温に等しい) の水が循環し、試料からの熱を吸収させて台の温度を一定に保持し、境界条件を明確にすることにより境界条件を単純化した。

あらかじめ一定温度に加熱した熱源板を試料台上の試料に上部から接触させたときの熱源板の温度の時間変化を、抵抗線温度ゲージにより測定した。熱源板の加熱は、電熱線を挿入して精密に温度制御 ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) された銅のブロックに熱源板を密着させることにより行なった。データ処理は、温度検出用抵抗線ゲージからの熱源板の温度変化信号を記録させるとともに、さらにアナロ

図4 定常状態における熱伝導率の測定装置の断面図

グ型微分回路を付加することによっても同時記録した(図1(b)). 熱源板内の温度一定の仮定をしているが、いま銅板の開放側面に過渡的溫度突変を与えたときの反対側の面(シール面)の溫度の応答は、厚さ0.15cmの熱源板の場合を計算すると0.02~0.05 sec以内に突變溫度に極めて接近することが計算でも示されるし実測でも確かめられた。この応答は、本実験の範囲では上記仮定を十分満足できる応答速度といえる。

定常状態における熱伝導特性の測定は、図4のように銅製の熱板の中に電熱線と溫度検出用抵抗線ゲージを挿入し、熱板の両面に試料を密着させ、さらにそれを室温に保った水を循環させた銅製の冷却槽で図のようにはさんで、定常状態においてヒータからの発生熱量を電流と電圧の測定により求め、かつ試料の両面の溫度差を熱板と冷却槽の溫度差を測定することにより求めた。これらから(5)式により k を求めた。装置の周囲は熱放散による熱損失を防ぐためすべて断熱材で覆った。試料面積は $4.5 \times 4.5 \text{ cm}$ (20.25 cm^2)とした。

図5 各種材料の $T_P(t)$ 曲線

図6 各種材料の熱吸収速度 $q(t)$

3.2 同装置の性能について

図3の装置により、まず各種素材を用いて得た溫度降下曲線を図5に、図6に $q(t)$ 曲線を示した。測定は皮膚温をほぼ $32 \sim 33^\circ \text{C}$ とし試料表面溫度(室温)との溫度差 $T_0 = 15^\circ \text{C}$ として行なった。この条件の下でウレタンフォームなどの温かく感じられる素材は $q(t)$ が小さく、銅、ガラスなどの冷たく感じられる素材は逆に速い。さらに図6でも明らかのように、銅、ガラスなどの冷たく感じられる材料の q_{max} が非常に大きく、また布などのように比較的温かく感じる素材では非常に小さく、各種素材の熱移動の差が明確に捉えられている。また熱源板を空氣中に放置した場合の $q(t)$ 曲線は測定時間内ではほとんど水平で變化なく、熱源板が試料に接触することによってはじめて溫度が降下することが認められ、この方法によって熱板の溫度變化は接触に伴う熱移動のみによるとみなせる。応答速度については、検出部分、レコーダの遅れも含め試料の q_{max} 出現時間に比べ無視できる程度に速いことも確かめた。これは溫度検出用抵抗線ゲージの応答時間が極めて速い(時定数0.1 sec以下)ことも有効に生かされている。接触圧は 1.3 g/cm^2 を標準として用いた。

3.3 試料

20種類の男子外衣用織物を用いた。表1にそれらを示す。冬服用9種類(コート用2種を含む)、夏服用6種類、合服用5種類で計20種類であるが、繊維はすべて羊毛である。したがって繊維の熱伝導率はいずれの布もほぼ一定とみなし得る。試料の厚さは $0.039 \sim 0.247 \text{ cm}$ 、単位面積当たり重量は $0.0174 \sim 0.0353 \text{ g/cm}^2$ の範囲にわたっている。この20点の試料は、風合い計量と規格化

表1 試料

試料 番号	判定 順位 Y	用 途	厚 さ (cm)	重 量 (g/cm ²)	糸 密 度 (未数/cm)	
					たて	よこ
Y-1	1	冬コート用	0.235	0.0342	21.0	20.0
2	2	"	0.247	0.0353	22.5	19.5
3	3	冬服用	0.130	0.0340	22.0	19.0
4	4	"	0.112	0.0264	17.0	14.0
5	5	"	0.126	0.0276	18.5	16.5
6	6	合服用	0.073	0.0254	31.5	27.5
7	7	冬服用	0.078	0.0270	30.0	28.0
8	8	"	0.067	0.0260	32.0	30.0
9	9	"	0.091	0.0272	31.0	28.0
10	10	合服用	0.061	0.0208	31.5	28.0
11	11	"	0.077	0.0297	13.5	12.0
12	12	夏服用	0.047	0.0187	22.5	18.5
13	13	冬服用	0.077	0.0246	42.0	32.0
14	14	合服用	0.081	0.0217	14.5	14.5
15	15	夏服用	0.052	0.0200	20.5	22.0
16	16	"	0.050	0.0213	22.0	21.5
17	17	"	0.039	0.0174	23.5	20.5
18	18	"	0.056	0.0192	19.0	17.0
19	19	合服用	0.051	0.0258	21.5	17.5
20	20	夏服用	0.050	0.0157	21.5	21.0

試料はすべて羊毛服地織物

研究委員会で収集された数百点の市販男用スーツ地から、後述する6名の委員によって、冷温感が等間隔となるよう努力して選ばれた布である。

3.4 感覚の判定法

仕上工程の技術者で布の風合い判定に10年以上の経験をもつ6名が判定を行なった。判定は後述するように6名の協議により、全員の意見交換のうえで一列の順位に並べられた。そして最も温感を感じる布を順位1、最も冷感の布を20とし、その順位の数字をここでは感覚値Yとした。この順位は後述の手順をふんでの順位で、感覚の強さの等間隔的配置となるよう努力がなされている。判定は20°C、50~70%RHの室内で行なわれた。

次に、ここでとられた試料選出法、順位づけについて詳細を述べる。人間がある複数の対象物のもつある量に大小の順位をつけるときは、絶対基準が明確に頭に記憶されていないときは当然ながら対象量間の比較を行なう。この比較の仕方に、全組合せを比較する方法が考えられ、よく実行される方法であるが、現実には実行不可能な場合が多く、必ずしも適切な方法ではない。試料数が数点、恐らく5~6点以内であればよいが、試料点数の制限が実験そのものに本質的誤差を生む恐れのあるときなどがそうである。布のように、構造や力学的性質に

多種多様のものが混じているものから、冷温感のみを判断するには、試料数は多いほどよい。これは布の風合いに関する特殊事情であって、たとえば、布の力学量と風合い感覚の結びつけの研究において、精度におよぼす試料数の影響が検討されているが、秋冬用男性スーツ地というように用途を狭く限った場合でも約150点以上を必要とすることが結論されている⁶⁾。本研究でとった方法は、後述するような個人差誤差をもつ6名のうちの2名の共同作業で数百点のうち夏服用布地から冷感の強いもの、普通、温感に近いものの3つのグループに分けた。これは頭脳の中に記憶されている基準に基づく分類といえる。同様に冬用(春用も含む)からも今度は温感の強いもの、普通、冷感に近づくもののグループに分類、これら6グループから前述の等間隔配列になる努力を行ないながらも20点の候補を選び、一列に並べた。これを他の4名を加えた6名で点検、主に接近する順位の試料間での多数回の比較を行ないながら、全員が適当と認める配列を作りあげた。20点という数は、熟練者が判断できる感覚上の差を間隔にしたとき、この数になるからで、いわば最少限の試料数である。このため実験上でも精度の上の制約は受けるが、試料数の増加する研究はグループ研究を必要とし、本研究をそのための基礎研究とする目的で最少限に絞った。20点の中での順位の点検は相対的な比較で、熟練者の直感と、訓練された順位判定の能力にたよっている。まず全対にわたる比較は行なっていない。仮に行なっても20点とはいえ190対におよぶ比較はかえって直観を乱すうえに無駄な比較が多く含まれる。熟練者のもつ、試行錯誤的にいくつもの可能性を短時間に点検し総合的判断を下だす能力にたよったわけである。

20点の各順位間の差は、一般人には適確な判断はむずかしい。著者らの判断では5順位間は任意性があるが熟練者の誤差は隣り合う順が入れ換わる程度で2順位の入れ換えの誤差が生じることがあるという程度である。判定誤差の検討を表2に示している。

表2 湿感の順に並べられた試料

温感の 順 位	合 議 による 順	判定者A, B, Cによる1次判断		
		A	B	C
温	Y-5	Y-5	Y-5	Y-5
	Y-6	Y-7	Y-7	Y-7
	Y-7	Y-6	Y-6	Y-6
	Y-8	Y-8	Y-8	Y-9
	Y-9	Y-9	Y-10	Y-8
冷	Y-10	Y-10	Y-9	Y-10

ここで、冷温感の定義として、「冷たさ、温かさの感覚」であるが、衣服用布地の場合、他の風合い、たとえば「ぬめり」や「ふくらみ」などとも関連しているようであり、熟練者の感覚は必ずしも単純でないことはそれらの人々の一致した見解である。しかし個人差の少ないことは著者らには驚くべきことであった。布の色彩は冷温感に影響を与えるように思われるが、判定者は色彩から受ける影響をなるべく取り去り、手触り感のみからの判定を行なうよう努力している。

4. 実験結果

4.1 冷温感と $q_{\max}$ 値との関係

表1の試料布の接触冷温感と熱移動特性の関係を測定して求めた。まず図7にその主な試料についての温度降

図7 各種材料の $T_P(t)$ 曲線

図8 各種試料の熱吸収速度 $q(t)$

下曲線を示したが、試料繊維を羊毛にかぎっているので繊維の熱伝導率は一定とみなせるが、布によりかなりの差がみられるのは当然のことながら布の構造からくる要因のためであろう。感覚判定の結果も布により接触冷温感に大きな差がみられる。図中加えてあるレーヨン布は一般に裏布に使用されている布で、ここでは比較のために示したが一般人にも容易にわかる冷感のかかなり高い布でその温度特性の差が明瞭であって、この程度の差の検出はすでにこれまでに測定されている。図8に試料1~20についての $q(t)$ 曲線を示したが、冷感のある試料ほど $q_{\max}$ がやはり大きいことが認められるが一致は完全ではない。たとえば各服用スーツ地のみの比較をするとうまくわかるが、Yの判定順位の誤差(1ランク入れ換え内)以上の誤差が生じている。 $q_{\max}$ とYとの回帰式をつくると次式が得られた。

$$\log Y = \log c + 54 q_{\max} \dots\dots\dots (7)$$

ただし $\log c = -0.72$

20種類の試料についての判定順位 Y と $q_{\max}$ の関係を図9に、また(7)式による回帰図を図10に示した。最

図9 温冷感覚値 Y と $q_{\max}$

図10 Y の回帰式

図11 温度差の影響

大熱流量 $q_{\max}$ の小さい試料ほど温感が感じられ、 $q_{\max}$ が大きくなるに従って温感が少なくなり冷感にうつる傾向が認められる。表1の試料用途からもわかるとおり大体 Y 値が10以上のものは比較的冷感または涼感が感じられる布で、10以下は温感になる。この付近の布の $q_{\max}$ 値は約 $0.03 \text{ cal/sec}\cdot\text{cm}^2$ である。なお $q_{\max}$ の測定は室温 18°C 、熱源板温度 33°C において行なった実験データである。このように $q_{\max}$ との密接な関係が明らかであるが、さらに条件を変えた場合についても検討を加え、 $q_{\max}$ との関係を追って $q_{\max}$ の性質を明らかにしておく。

a. 試料温度の影響

以上の実験は皮膚表面温度を $32\sim 33^\circ\text{C}$ とし室温との差 15°C とし一定温度下において実験したものであるが、室温（試料温度）と接触冷温感の関係を調べるため、熱源板と試料表面温度との差を $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ\text{C}$ と変化させたときの $q_{\max}$ について測定した結果を図11に示した。その結果、熱源板と試料温度との差を変化させても順位についての傾向は変わらないが、一様に $q_{\max}$ が直線的に増加することが認められた。このことは皮膚温と試料温度の差が大になるほど $q_{\max}$ は大きくなり、温かい試料でも冷たく感じられることが予想される。例えば前述の判定結果を応用して $q_{\max}=0.03 \text{ cal/sec}\cdot\text{cm}^2$ を冷温感の境とすると、同じ布でも温度差によって温感冷感にまたはその逆になることも考えられる。これは季節（室温）によって同じ布でも接触冷温感に変化する可能性のあることを示している。この問題は今後の研究すべきテーマの一つとなろう。

b. 吸湿との関係

次に湿気の多い布が着用際に冷たく感じられることが経験される。Y-1, Y-6, Y-17の試料について、0, 20, 40, 60, 80, 100%RH 中に放置、調湿した後、 $q_{\max}$ を測定した結果を図12に示した。湿度の増加とともに $q_{\max}$ も増加し試料水分が $q_{\max}$ に影響していることがわかる。 $q_{\max}$ を増加させる機構はまだ明確でないが、水分

図12 試料を調湿した関係湿度と $q_{\max}$ 図13 接触圧 P と $q_{\max}$

が熱的接触抵抗を減じるのかあるいは布の表面特性（毛羽のかたさなど）を変えて熱伝達を速めるのか何らかの寄与をすることは確かである。いずれにせよ、Rees や Holliesらの指適した表面形状の影響が関係していると思われるし、さらに布の“ふくらみ”にも密接に関係すると思われる。

c. 接触圧の影響

接触圧の影響について熱源板に圧力を加えて測定した結果を図13に示したが、圧力の増加とともに最大熱流量 $q_{\max}$ も増加することが認められた。これは圧力の増加により布表面の実際の接触面積が増加するためと考えられ、接触冷温感が接触面積の増加によって変る可能性のあることを示し、これはまた図14に示すような布の表面形態に大きく関係していることを示している。

4.2 冷温感と定常熱伝導率との関係

ここで過渡状態における熱移動特性のほかに定常状態における熱伝導特性の接触冷温感への寄与について検討

(a)

(b)

図14 (a) 試料Y-2 ($q_{\max}$ の小さい布) の断面
(b) 試料Y-15 ($q_{\max}$ の大きい布) の断面

図15 冷温感覚値 Y と熱伝導率 k 図16 冷温感覚値 Y と K

を加えた。本実験では試料布の繊維はすべて羊毛であり繊維の熱伝導率はほぼ同一と考えられるが、織物独特の“ふくらみ”のある構造上、繊維の熱伝導率は同一であっても繊維や糸の形態や空気などの影響によって、定常状態における布の熱伝導特性は異なるので、前述した定常特性試験用装置を使用して試料の熱伝導特性の測定をした。その結果図15図に試料の熱伝導率 k と接触冷温感の判定順位 Y との関係を示したが相関は認められなかった。しかし、(6)式で定義した K との間には図16に示すような相関がみられた。しかしこれは表1からもわかるように用いた試料については接触冷温感と試料の厚み d との間に高い相関がみられるので（これは恐らく布の使用目的にあわせて構造が設計されているためであろう）熱伝導率 K が(6)式からわかるように試料の厚み d と関係しているため、結局 K 値と Y 値との間に相関が生じてくるという関係が考えられる。

図17 試料枚数と $q_{\max}$ 図18 試料枚数と K

以上のことを明確にするにはさらに同じ試料を多重に重ねて測定した場合の $q_{\max}$ と K との測定結果が役立つ。図17に試料枚数を重ねた場合の試料枚数と最大熱流量 $q_{\max}$ の関係、図18に同様に熱伝導率 K との関係について示したが、最大熱流量 $q_{\max}$ には重ねた枚数はほとんど無関係である。接触冷温感が試料枚数によって変化しないことは経験されるが、これは最大熱流量 $q_{\max}$ が布の冷温感に直接関係する物理量とすることの根拠となる。これに対し熱伝導率 K は重ねた枚数によって変化するが、 K が冷温感と関係するものならば経験事実と合致しない。その他、試料重量 W (g/cm²) や見かけの比重 W/d (g/cm³) との相関がみられたが、それらはいずれも厚み d と Y 値との強い相関に起因していると考えられ、これらのことから本研究に用いたような接近した熱移動特性をもつ試料間では K は直接冷温感に影響をもつ物理量ではないように思われる。

5. 考 察

以上の実験から、布に皮膚が触れた直後に感じられる接触冷温感は、体温が布に吸収される過渡的な熱移動現象が関係していることがわかり、また接触後2～3 sec後に現れる $q_{\max}$ が測定も容易で関係する物理量として適当であると思われる。接触冷温感と定常状態における熱伝達特性との相関も検討したが熱伝導率 k との相関は認められない。布のように比較的類似した熱伝導率をもつ場合の接触冷温感の差は、表面の接触状態で最大熱流量 $q_{\max}$ が変ることによって考えられ、布の表面形態が関係していることが考えられる。もちろん熱伝導率が大幅に異なる物質間では、前述したガラスやウレタンなど各種素材の $q_{\max}$ の測定からもわかるように $q_{\max}$ と熱伝導率 k との極めて強い関係が考えられる。しかし熱伝導率の比較的似ている材料の場合、 $q_{\max}$ は、試料の枚数を重ねての実験からも明らかのように試料の厚みと無関係なこと、接触圧により $q_{\max}$ は変化することからも確かめられる。しかし問題は $q_{\max}$ の値と Y 値とは完全な相関のないことで判定者の判定誤差が生じない布間にも $q_{\max}$ の順位に反転が生じており、 $q_{\max}$ 以外の何かは接触冷温感に関与することが考えられるので、特に布の“ふくらみ”や“ぬめり”が関与するとの判定者の説に従い、以下に2, 3の検討結果を紹介したい。(7)式にさらに残差回帰方式⁸⁾により他の物理量、ここでは風合い値計算のデータとして用いられる力学量⁹⁾を回帰に加えてみた。その結果冬服では表面摩擦係数 μ^0 が、夏服では摩擦係数の変動(平均偏差) μ_{MD}^0 の関与が認められた(図19)。これら力学量は“ぬめり”や“ふくらみ”に強く関係することがわかっている。これらの付加により回帰度はやや向上することが認められる。

図19 図10に示した Y の回帰に、布の表面特性値を付加した場合

次に $q(t)$ のピーク発生現象について、この $q_{\max}$ は熱流量曲線にみられるように熱源板を試料に接触させた場合、接触直後ではなく約2～3 sec後に最大値が得られたが、この時間差について測定装置上の遅れはなく正しく現象を把握していることは確かめた。このピークの現れる熱伝達機構もいまの段階では明らかでない。さらに $q_{\max}$ は試料と熱は板温度との差により変化することから、同一試料であっても室温によって接触冷温感が変わる可能性があること、また湿度によって変ることから接触冷温感が季節(環境)によって異なる可能性を示しており、今後の研究の方向を示唆している。

6. 結 語

仕上技術者の判断による布の冷温感と熱伝達特性との関係について検討した。特にその判定が行なわれる短時間内(0～6 sec)の過渡的な熱移動現象を採りあげ、この時間内での測定ができる装置を試作して実験したが、予想どおり $q_{\max}$ が関係している物理量であることを実験的に示したが、その相関は完全でなく、冷温感判断は一種の総合判断と考えられ、今後の研究が必要である。また布のように比較的類似した熱伝導率をもつ物質の接触時の冷温感、その表面状態が関係していると推定されることも確かめられ布の接触冷温感が環境条件によって変る可能性があることが認められた。これらの結果はさらに進んだ研究のための資料となり得よう。本実験に協力を得た風合い計量と規格化研究委員会委員、足立統三(御幸毛織)、幡鎌秀夫(大同毛織)、近藤稔(鐘紡)、森益一(艶金)、森岡益徳(元、日本毛織)、斎藤廉(倉紡)の各氏に謝意を表したい。また、本研究を進めるにあたってご討論頂いた奈良女子大学家政学部丹羽雅子先生、繊維集合体力学研究会各位に謝意を表す。この研究は第26回繊維機械学会年次大会(1973)¹⁾お

よび第5回繊維工学研究討論会での発表した内容を取りまとめた。

文 献

- 1) 七島, 川端, 第26回繊維機械学会講演要旨集, 19 (1973)
- 2) 赤木, 第5回繊維工学研究討論会講演要旨集, 7 (1976)
- 3) W. H. Rees, J. Text. Inst., **32**, T149, 1941
- 4) E. E. Clulow, W. H. Rees, J. Text. Inst., **59**, 285, 1968
- 5) H. R. Draper, H. Smith. "Applied Regression Analysis", Jhon Wiley and Sons (1966)
- 6) 川端季雄, "風合い評価の標準化と解析", 日本繊維機械学会, 1975
- 7) 内田豊作, 繊維工業学会誌, **3**, Vol. 9, 1 (1937)
- 8) C. W. Hoch, L. Sookne, M. Harris, J. Res. Natl. Bur. standards **32**, 229 (1944)
- 9) N. R. S. Hollies, H. Bogaty, J. C. Hintermaier, M. Harris, Text. Res. J., **23**, 763 (1953)

付 録

文中の熱源板内温度の均一の仮定について一面が断熱されている厚み l の銅板の温度が均一に U_0 であるとして, $t=0$ においてもう一つの面の温度を 0 にしたとき断熱面の温度 ($U(0, t)$) は

$$U(0, t) = U_0 \left(1 - 2 \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \operatorname{erfc} \left[\frac{(2n+1)l}{\sqrt{kt}} \right] \right)$$

ただし

$$k = k' / \rho c$$

付図 $U(0, t)$ の応答曲線

ここで

k' : 銅の熱伝導率

ρ : 銅の密度

c : 銅の比熱

いま銅板の条件として $k=1.117 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$ ($k'=0.92 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec}$, $\rho = 8.95 \text{ g/cm}^3$, $c=0.092 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$) として銅板の厚みを 0.15 cm としたときの $U(0, t)/U_0$ を計算した結果を付図に示す。 $t=0.05 \text{ sec}$ 経過後になると $U(0, t)/U_0$ の値は極めて小さくなり、実験の応答範囲では充分無視できる遅れといえ熱源板内温度は均一と仮定できる。