湿潤布の熱伝導率に関するモデル的検討

繊維高分子材料研究所 鈴木 木 淳* (会員)

横浜国立大学 教育学部 大 平 通 泰**

Study on the Model of the Thermal Conductivity of Wet Fabrics.

Atsushi Suzuki*, Michiyasu Ohira,**

* *Research Institute for Polymers and Textiles, Yokohama.*

** *Yokohama National University, Yokohama.*

Abstract

The thermal conductivity of wet fabrics was studied on the basis of a thermal-resistance model. Equations derived involve such factors as thermal conductivity of fiber, water absorption by fiber, air content of fabric, water content of fabric, swelling and shrinkage by water. The following results were obtained:

(1) The results calculated from the equation agree fairly well with the experimental results of the thermal conductivity of wet fabrics.

(2) The degree of the effects of the above factors on the conductivity was estimated by the results calculated from the equations.

(3) Analysis of experimental results showed that an effect of water or moisture absorption was most significant for the conductivity. Namely, it was confirmed that the thermal conductivity of wet fabrics was reduced by water or moisture absorption by fiber.

(4) It was confirmed that the water or moisture absorbed in wool would cause the warmth retention appeared in the winter mountain.

(Received December 14, 1976)

摘 要

目 的 湿潤布について熱伝導モデルを検討し、熱伝導率を表わす式を導き、その式から熱伝導率に対する要因効果ならびに熱伝導率を推定する。

結 果 堀川の抵抗モデルを応用して既報の実測値をもとに湿潤布の熱伝導率を表わす式を導いた。本式から熱伝導率に対する素材およびその吸水率、布の含気率および含水率、さらには吸水、含水による膨潤収縮等の効果について試算した。その特徴的結果として繊維の吸水性（あるいは吸湿性）が湿潤布の熱伝導率を低下させる働きを示した。またこの結果は湿潤による冬山での羊毛の保温効果の一端を説明するものである。

(昭和51年12月14日受理)

1. 緒 言

布あるいは繊維集合体の熱伝導率については仲や堀川の総説¹⁾に詳しいが、先に筆者らも温度差の小さいオングストローム法を用いて積層した湿潤布の熱伝導率を測定²⁾した。それは、試料内の水分が移動を伴わず均一に分布した含水状態にあるものとして考え、同時に空気の流れや輻射の効果も少ない伝導による熱伝導率として取

扱った。本報告ではその実測値をもとに湿潤布の熱伝導率についてその推定式を堀川の抵抗モデル³⁾を応用して検討した。さらに湿潤布の熱伝導率を左右する因子として考えられる素材繊維の種類とその特性（特に吸水率）、布の含気率と含水率、吸水による膨潤度等諸項目の効果の大きさを試算した。本研究の実用的な意義としては湿った状態での衣料の冷えとか、むれの問題についてその要因効果を解明しようとするにある。たとえば安

* 現在、長崎大学 教育学部

田⁴⁾らは登山用肌着の吸水性について考察し、汗が肌着の繊維内部に吸収されないと、これが繊維間隙を満たして体温をうばいやすと述べている。この検証も本研究の具体的な意義の一つと考えられる。

2. 熱伝導率の推定式

繊維集合体の熱伝導率については従来からモデル的、ないしは理論的な多くの研究¹⁾⁵⁾がある、最近ではさらに論理的な解析をすすめる上で集合体を細線⁶⁾あるいはフィラメント⁷⁾の配列モデルで単純化しその熱伝導率を理論解析している。一方湿潤織物の熱伝導率については極く最近においては仲ら⁸⁾の研究がある。仲らは、試料に線熱源法を使用して試料面に垂直方向と糸方向の熱伝導率を測定し、織物ひいては繊維に関する熱伝導率の異方性を問題にして、解析的な伝熱モデルを検討している。

本研究では、試料に面熱源法を使用して試料面に垂直方向の熱伝導率を測定²⁾し、前述の実用的立場から素材繊維の種類とその特性（特に吸水率）、布の含気率と含水率、吸水による膨潤度等諸項目の効果の大きさを推定すべく、包括的な伝熱モデルを検討する。そのための基礎として図1のような堀川³⁾の熱流モデルを応用する。

図1 堀川³⁾の繊維集合体の伝熱抵抗

いま、絶乾状態の繊維および水の比重を ρ_f , ρ_w とし、絶乾状態にある布の単位体積を V とする。その含気率を P_a (布中で空気が占める体積分率)、湿潤による布の含水率を P_w (布の絶乾重量いいかえれば布中の繊維重量に対する重量分率)、そのとき吸水した繊維の吸水率を A_w (繊維の絶乾重量に対する重量分率) として定義する。つぎに、 P_w , A_w の含水、吸水によって布の体積 V と布中で繊維が占める体積 $V(1-P_a)$ がそれぞれ Q_w , Z_w (共に体積 V と体積 $V(1-P_a)$ に対する体積分率で、膨潤のとき正、収縮のとき負の値をとる。たとえば吸水分だけ繊維が膨潤したと仮定すると $Z_w = \{V(1-P_a)\rho_f A_w / P_w\} / V(1-P_a) = \rho_f A_w / \rho_w$ となる) 変化したと仮

図2 絶乾および吸水後における布の体積要素モデル

定する。そのとき、図2すなわち次式のような諸量が定義される。

$$\left. \begin{aligned} V_a &= V P_a \\ V_f &= V(1-P_a) \\ V_w &= V(1-P_a) P_w \rho_f / \rho_w \\ V_{fw} &= V(1-P_a) A_w \rho_f / \rho_w \\ V_{aw} &= V(1-P_a) (P_w - A_w) \rho_f / \rho_w \\ V' &= V(1+Q_w) \\ V'_f &= V(1-P_a)(1+Z_w) \\ V'_a &= V[P_a - (1-P_a) \\ &\quad \{(P_w - A_w) \rho_f / \rho_w + Z_w\} + Q_w] \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ここで、 V_a , V_f : 絶乾状態にある単位体積 V の布が布中に占める空気および繊維の体積、 V_w : 単位体積 V の布が含水した水の体積、 V_{fw} , V_{aw} : 布が含水した水の体積 V_w のうち繊維が吸水した水の体積および空気が含水した水の体積、 V' : 絶乾状態における単位体積 V の布が含水および繊維の吸水によって膨潤または収縮したときの体積、 V'_f : 体積 V_f の繊維が吸水によって膨潤または収縮したときの体積、 V'_a : 膨潤または収縮後の体積 V' の布が布中に占める乾燥空気の体積。

つぎに、本報告では図1の K_f , K_a , K_c をそれぞれ吸水繊維、吸水繊維間の含水空気、吸水繊維の接触部の熱伝導率 λ'_f , λ'_a , λ'_c で置き換える。すると、湿潤布の熱伝導率 λ は図1におけると同様次式で与えられる。

$$\lambda = \{(V'_a + V_{aw}) / V'\} \lambda'_a + 1 / \{1 / (V'_f / V') \lambda'_f + 1 / (V'_f / V') \lambda'_c\} + 1 / \{1 / (V'_f / V') \lambda'_f + 1 / (V'_f / V') \lambda'_c + 1 / \{(V'_a + V_{aw}) / V'\} \lambda'_a\} \dots (2)$$

つぎに、繊維の構造および吸水による構造変化が必ずしも明確ではないので繊維については内部構造まで言及せず、図3のような体積分率による単純化モデルを考え、吸水繊維の熱伝導率 λ'_f と含水空気の熱伝導率 λ'_a をつぎのように近似する。

$$\left. \begin{aligned} \lambda'_f &= \{V_f - V_{fw}\} \lambda_f + V_{fw} (\lambda_w + \lambda_f) / 2 \} / V_f \\ \lambda'_a &= (V'_a \lambda_a + V_{aw} \lambda_w) / (V'_a + V_{aw}) \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ここで、 λ_f , λ_a , λ_w : 絶乾繊維、絶乾空気、水の熱伝導率

図3 吸水繊維および含水空気の体積要素による熱伝導率の単純化モデル

そのとき、吸水繊維の接触部の熱伝導率 λ_c' は図1におけると同様次式で与えられる。

$$\lambda_c' = (\lambda_f' + \lambda_a')/2 \dots\dots\dots (4)$$

すなわち、吸水繊維が含水空気を介して接触するものとし、吸水繊維の熱伝導率と含水空気の熱伝導率との相加平均を吸水繊維の接触部の熱伝導率として考え、それが吸水繊維の体積分率に比例して存在し、吸水繊維の接触部の熱抵抗として働くものと仮定する。

以上、(1)式、(2)式、(3)式、(4)式から湿潤布の熱伝導率 λ は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \lambda = & [(\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w + \lambda_a\{P_a \\ & (1 + Z_w) + Q_w - Z_w\} \\ & + 1/\{1/(1 - P_a)\{\lambda_f + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & + 2\{P_a(1 + Z_w) + Q_w - Z_w\}/(1 - P_a)\}\{\lambda_f + \lambda_a \\ & (1 + Z_w) + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & \{P_a(1 + Z_w) + Q_w - Z_w\} + (\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a) \\ & (1 + Z_w)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w\}] \\ & + 1/\{1/(1 - P_a)\{\lambda_f + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w \\ & + 2\{P_a(1 + Z_w) + Q_w - Z_w\}/(1 - P_a)\}\{\lambda_f + \lambda_a \\ & (1 + Z_w) + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & \{P_a(1 + Z_w) + Q_w - Z_w\} + (\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a) \\ & (1 + Z_w)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w\} \\ & + 1/\{(\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w + \lambda_a \\ & \{P_a(1 + Z_w) + Q_w - Z_w\}\}\}]/(1 + Q_w) \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

ここで、吸水、含水による膨潤収縮等を無視すると(5)式は(5)'式で与えられる。

$$\begin{aligned} \lambda = & (\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w + \lambda_aP_a \\ & + 1/\{1/(1 - P_a)\{\lambda_f + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & + 2P_a/(1 - P_a)\{P_a\{\lambda_f + \lambda_a + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & + (\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w\}\} \\ & + 1/\{1/(1 - P_a)\{\lambda_f + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & + 2P_a/(1 - P_a)\{P_a\{\lambda_f + \lambda_a + (\lambda_w - \lambda_f)A_w\rho_f/2\rho_w\} \\ & + (\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w\} \\ & + 1/\{(\lambda_w - \lambda_a)(1 - P_a)(P_w - A_w)\rho_f/\rho_w + \lambda_aP_a\}\} \dots\dots\dots (5)' \end{aligned}$$

3. 実験ならびに試算

3.1 試料²⁾

表1に用いた布の明細を示す。表2に熱伝導率の実測時(荷重下)における積層布(乾燥状態の)の明細を示す。試料の含水率は調湿または強制的に含水させた試料を脱水ないしは乾燥によって任意に調整し、絶乾量に対する水分量で表わし、ポリプロピレン フィルムの袋に密閉し、長時間測定状態に放置し測定に供した。

3.2 熱伝導率の測定方法²⁾

図4は測定方法の概略図である。図4において人工気

人工気候室温度変動 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ の単一余弦波にシミュレート
入力温度振幅 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 程度
試料面積 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$
積層厚さ $5 \sim 6\text{cm}$

図4 熱伝導率測定概略図

候室内の温度変化($\pm 0.5^\circ\text{C}$)を入力単一余弦波として近似することができ、かつ布の積層による x 方向の断面温度が近似的に一樣になる試料空間 A の存在が実験的に確かめられ、そこに x 方向の一次元熱伝導を考慮することができた。そこで次式のようなオングストローム法による測定原理を応用して湿潤布の熱伝導率 λ を測定した。

$$\left. \begin{aligned} \kappa &= d^2s/2m1n(a_2/a_1) \\ \lambda &= \kappa c\rho \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 κ :熱拡散率、 d :入力温度と出力温度の測定点の間の距離、 s :記録紙上の速度、 m :記録紙上の入・出力温度の位相差、 a_2/a_1 :出力温度の入力温度に対する振幅比、 c 、 ρ :湿潤試料の比熱および密度(みかけの)

3.3 試算

湿潤布の熱伝導率に対する推定式(5)'式および(5)式を用いて素材繊維の種類とその特性(特に吸水率)、布の含気率と含水率、吸水による膨潤度等諸項目の効果の大きさを試算した。なお、試算に当たってつぎの3点に留意した。

1) 含気率 $P_a(\times 10^2\%)$ としては表2に示す実測時(荷重下)の絶乾状態における積層布の値を用いた(その実測下では湿潤による積層布の厚さ変動は無視する)。

表1 試 料

絶 乾 試 料	組 織	厚 さ ^{a)} ($\times 10^{-2}$ cm)	含 気 率 (%)	通 気 度 (cc/cm ² / sec)	み か け 密 度 (g/cm ³)	み か け 比 熱 (cal/g/°C)	織 維 ^{b)} 密 度 (g/cm ³)	織 維 ^{b)} 比 熱 (cal/g/°C)
綿	平	3.02	73.5	8.56	0.400	0.319	1.54 (1.51)	0.319
羊 毛	〃	4.45	70.5	7.48	0.389	0.325	1.32 (1.36)	0.325
麻	〃	4.06	64.3	—	0.521	0.322	1.46 (1.57)	0.322
ポ リ エ ス エ ル	〃	0.63	50.0	6.36	0.690	0.322	1.38 (1.42)	0.320

注) a) 荷重 10g/cm² での厚さ
b) 文献値, () は測定値

表2 実測下の試料(シミュレート実験と計算による)

絶 乾 試 料	厚 さ ($\times 10^{-2}$ cm)	含 気 率 P_a (%)	み か け 密 度 (g/cm ³)	み か け 比 熱 (cal/g/°C)
綿	3.10	74.1	0.399	0.319
羊 毛	4.38	70.1	0.384	0.325
麻	4.33	67.1	0.480	0.322
ポ リ エ ス テ ル	0.84	61.9	0.526	0.320

表3 用いた繊維 (λ_f), 空気 (λ_a), 水 (λ_w) の熱伝導率および繊維 (ρ_f), 水 (ρ_w) の比重

物 質	熱 伝 導 率 ($\times 10^{-4}$ cal/°C·sec·cm)		比 重
	平 均 値	文 献 値	
羊 毛	4.7	5.3 ⁹⁾ , 4.6 ¹⁰⁾ 4.2 ¹¹⁾	1.32
綿	13.4	10.2 ¹¹⁾ 15.7 ⁹⁾ , 14.2 ¹²⁾	1.54
ポ リ エ ス テ ル	4.8	4.0 ¹³⁾ , 3.7 ¹⁴⁾ 6.7 ¹⁵⁾	1.38
麻	—	(14.7)	1.46
空 気	—	0.58 ¹⁷⁾	—
水	—	15 ¹⁷⁾	1

注) ・繊維の熱伝導率は相対熱伝導度からの算出値も含む。
・羊毛, 綿, ポリエステルの熱伝導率は平均値を用いた。
・麻の熱伝導率は綿の熱伝導率と綿および麻の各々の集合体の熱伝導率¹⁶⁾から便宜的に概算した値である。

2) $\lambda_f, \lambda_a, \lambda_w, \rho_f, \rho_w$ の値としては表3に示す定数を用いた。なお繊維の熱伝導率は測定条件や試料条件によっても異なり測定結果も少ない。たとえば仲ら^{5), 19)} は繊維軸方向とそれに垂直な方向とでは熱伝導率が異なることを示している。本試算では、実測値が布の積層方向の熱伝導率を意味しているので、熱流が主に繊維の垂直方

向の熱伝導率に支配されるものとし、表3の平均値をそのような場合の絶乾状態における繊維の熱伝導率 (λ_f) として近似した。

試算結果 ((5)式において $Z_w = Q_w = 0$) と実測値との関係
図5 羊毛湿潤布の熱伝導率について

試算結果 ((5)式において $Z_w = Q_w = 0$) と実測値との関係
図6 綿湿潤布の熱伝導率について

試算結果 ((5) 式において $Z_w = Q_w = 0$) と実測値との関係

図7 ポリエステル湿潤布の熱伝導率について

試算結果 ((15) 式において $Z_w = Q_w = 0$) と実測値との関係

図8 麻湿潤布の熱伝導率について

3) 試算は $V_a' \geq 0$ ($V_a' = 0$ は繊維間隙の空気がすべて水で置換されていることを意味する), $A_w \leq P_w$ ($A_w = P_w$ は含水量がすべて繊維に吸水され, 繊維間隙の空気が絶乾状態にあることを意味する) の条件で行った。

A. 実測値との関係 ((5)'式による)

羊毛, 綿, ポリエステル, 麻の熱伝導率について(5)'式による 試算結果と 実測値との 関係を図5～図8 に示す。

B. 熱流束の効果 ((5)'式による)

羊毛と綿の熱伝導率 (図5, 図6の試算結果) について熱流束の効果を試算した。

すなわち, (5)'式における含水空気のみを伝わる熱流 (I型), 吸水繊維のみを伝わる熱流 (II型), 含水空

気と吸水繊維とをシリーズに伝わる熱流 (III型) が湿潤布の熱伝導率に及ぼす効果の大きさを図9, 図10に例示した。

図9 (5)'式におけるI型, II型, III型の熱流モデルが羊毛湿潤布の熱伝導率に及ぼす効果比率

図10 (5)'式におけるI型, II型, III型の熱流モデルが綿湿潤布の熱伝導率に及ぼす効果比率

図11 熱伝導率の試算結果の例 (羊毛)

図12 熱伝導率の試算結果の例 (綿)

図14 等容量の含水における熱伝導率の試算結果 (綿)

C. 含気率等の効果 ((5)'式による)

湿潤布の熱伝導率に対する繊維の種類とその特性 (とくに吸水率), 布の含気率, 含水率等諸項目の効果の大きさを試算した。

その結果を羊毛, 綿について図11, 図12に例示した。また, 図11, 図12の熱伝導率を等容量の含水量に対して見直したものを図13, 図14に示した。

D. 膨潤等の効果 ((5)式による)

吸水繊維や系の体積が膨潤等により変化した場合, 湿潤布の熱伝導率はたとえば表4のように変化する。(次ページ)

図13 等容量の含水における熱伝導率の試算結果 (羊毛)

4. 考 察

湿潤布の熱伝導率について試算結果と実測値との関係および湿潤布の熱伝導率を左右する各種因子の効果の大きさ, さらには推定式の特徴を考察する。

4.1 実測値との関係 ((5)'式による)

図5～図8に示されるように試算結果は実測値と比較的良好な対応を示している。試算結果は布の含水率が同じであれば繊維の吸水率が大きいほど熱伝導率が小さくなっている。羊毛では吸水率の大きい性質があらわれ, ポリエステルでは吸水率がない性質がみとめられる。

4.2 熱流束の効果 ((5)'式による)

図9, 図10の結果からつぎのようなことが言える。含水空気のみを伝わる熱流量 (I型) は含水率の増加に伴って急増し, 吸水率が小さいと大きく作用し, その差は低含水域において大きい。

吸水繊維のみを伝わる熱流量 (II型) は乾燥状態および低含水域で大きく作用し, 含水率の増加に伴って急減し, 吸水率が大きいと大きく作用する。

含水空気と吸水繊維とをシリーズに伝わる熱流量 (III型) は比較的小さく含水率や吸水率による変化も小さい。図9, 図10はほぼ含気率が同じときの繊維 (熱伝導率) の違いによる差を示す。

4.3 含気率等の効果 ((5)'式による)

図11の実測値は高含気率試料の参考として含気率0.95含水率0.32の羊毛のウェブ塊についての測定結果である。

その結果は(5)'式による試算結果とよい対応を示すものと思われる。ポリエステルでは繊維の熱伝導率が羊

表4 吸水繊維や系の体積変化が湿潤布の熱伝導率に及ぼす効果の試算例

試料	吸水繊維の 体積変化率 Z_w	系の布の体 積変化率 Q_w	含気率 P_a	含水率 P_w	吸水率 A_w	(5)式の熱伝導 率の(5)'式の 熱伝導率に対す る増減率(%)
羊毛	0.1	-0.1	0.701	0.2	0.15	5.8
	"	"	"	0.4	0.20	9.6
	"	"	"	0.8	0.30	11.5
	"	"	"	1.2	"	12.0
	"	0	"	0.2	0.15	-0.8
	"	"	"	0.4	0.20	0.1
	"	"	"	0.8	0.30	0.5
	"	"	"	1.2	"	"
	"	0.1	"	0.2	0.15	-6.0
	"	"	"	0.4	0.20	-7.5
	"	"	"	0.8	0.30	-8.2
	"	"	"	1.2	"	-8.5
ポリエ ステル	0	-0.1	0.619	0.2	0	10.3
	"	"	"	0.4	"	11.2
	"	"	"	0.8	"	11.4
	"	0.1	"	0.2	"	-8.1
	"	"	"	0.4	"	-8.9
	"	"	"	0.8	"	-9.2

毛に近く、吸水性がないので、図11の吸水率が0の場合の羊毛の値に近い。図12は綿の試算結果で繊維の熱伝導率が羊毛より大きい(3倍弱)場合の結果である。また、図13(羊毛)、図14(綿)は等容量の水に対して図示したもので、水の効果を直接的に表現したものである。以上の結果から各要因の効果の大きさを知ることができる。一般に空気、水の効果が大きく、特に繊維の吸水性による効果の大きさが特徴的である。また、比較的含気率または含水率の低いところではそれなりに繊維の熱伝導率の効果が大きい。

4.4 膨潤等の効果((5)式による)

水による羊毛繊維の膨潤が10%程度と思われるので表4からその効果の大きさが推定できよう。

4.5 推定式の補足検討((5)'式のもの)

湿潤布の熱伝導率に対する実測値と(5)'式による試算結果との関係が吸水性による繊維の特徴と比較的よい対応を示したが、それらについて(5)'式の性質をつぎ

のような場合について補足検討した。

1) (5)'式においてⅢ型の熱流を無視したとき、その熱伝導率は(5)'式の結果より小さくなり実測値からずれる。また、含水率が同じとき繊維の吸水によって熱伝導率は低下する。

2) (5)'式においてⅡ型の熱流を無視したとき、1)に比較して熱伝導率はやや低く(特に低含水域で)なり実測値からずれる。また、繊維の吸水による効果は1)と同じである。

3) (5)'式においてⅠ型の熱流を無視したとき、熱伝導率は実測値と完全にずれて小さく(含水率が大きいほど)なる。また、繊維の吸水によって熱伝導率はやや大きくなる。

4) (5)'式において接触熱抵抗を無視したとき、熱伝導率は実測値からかなりずれて大きくなる。また、繊維の吸水によって熱伝導率は小さくなる。

5) (5)'式において接触熱抵抗とⅢ型の熱流を無視

したとき、熱伝導率は実測値からかなりずれて（特に低含水域において）大きくなる。また、繊維の吸水によって熱伝導率は低下する。

6) (5)'式において接触熱抵抗とI型の熱流を無視したとき、熱伝導率は実測値と完全にずれて小さくなる。また、繊維の吸水によって熱伝導率はやや大きくなる。

以上の結果から、繊維の吸水による熱伝導率の低下は含水空気によるI型の熱流モデルに起因するものである。また、湿潤布の熱伝導率として(5)'式（ないしは(5)式）を採用してさしつかえないように思われる（なお、実測値の含水率が限定されてはいるが、布などの繊維集合体が0.7を中心に含水率の高い範囲の値をとるので少なくとも問題は無いように思われる）。

5. 結 言

(1) 堀川の抵抗モデル³⁾を応用し、湿潤布の熱伝導率として(5)'式ないしは(5)式を仮定した。

(2) その推定式の妥当性を実測値をもとに確認した。

(3) 湿潤布の熱伝導率を左右する因子として考えられる素材繊維の種類とその特性（特に吸水率）、布の含水率と含水率、吸水による膨潤度等諸項目の効果の大きさを試算した。

(4) その特徴的結果として繊維の吸水性が湿潤布の熱伝導率を低下させる働きを示した。

(5) この性質は羊毛が繊維内部に水分を包蔵する能力が大きく、冬山における羊毛繊維の吸水による保温効果⁴⁾の一端を説明するもののようである。

なお、今後の問題として、布構造ならびに本推定式の特徴から本式を1枚の布にも適用でき水分包配を伴った積層布（あるいは重ね着）の伝熱モデルとして考察することができよう。さらに、布のぬれ状態が構造的特徴をもつことから、より解析的な検討も必要で、かつ、水分の蒸発、凝結など水分移動を伴う場合²⁰⁾も考えていく必要があるように思われる。

参考文献

- 1) 仲：繊維工学，**21**，No.5，49（1968）
仲：繊維と工業，**3**，No.4，247（1970）
堀川：講演要旨（1954）
- 2) 鈴木，佐藤，大平：繊維誌，**28**，T 481（1972）
- 3) 繊維学会編：基礎繊維工学〔I〕，p.169，1965，繊維学会
- 4) 安田，田中，山内，渡辺：消費科学，**4**，150（1963）
- 5) 仲，鎌田：繊維誌，**30**，T 43（1974）
- 6) 堀川，松田：繊維学会論文集，**29**，T 84（1974）
- 7) 鎌田：繊維誌，**31**，T 317（1975）
- 8) 仲，鎌田：繊維学会論文集，**29**，T 100（1976）
- 9) 繊維学会編：繊維物理学，p.121，1962，繊維学会
- 10) Behmann, Heerd, Heinrichs; Melliland Textilber., **41**, 444（1945）
- 11) 繊維学会編：基礎繊維工学〔I〕，p.91，1965，繊維学会
- 12) 成田：被服材料，p.11，1957，光生館
- 13) 村橋，小田，井本：プラスチックハンドブック，p.727，1969，朝倉書店
- 14) 仲，鎌田：繊維学会論文集，**26**，T 43（1973）
- 15) 繊維学会編：繊維便覧，p.106，1968，繊維学会
- 16) 繊維学会編：基礎繊維工学〔V〕，p.291，1971，繊維学会
- 17) 化学会編：化学便覧，p.469，1958，化学会
- 18) 繊維学会編：基礎繊維工学〔I〕，p.104，1965，繊維学会
- 19) 仲，鎌田：繊維学会論文集，**26**，T 43（1973）
仲，鎌田，吉野：繊維誌，**30**，T 9（1974）
- 20) たとえば，Behmann; Melliland Textilber., **4**，（1960）

付 記（記号の説明）

ρ_f ：絶乾繊維の比重

ρ_w ：水の比重

V ：絶乾状態にある布の単位体積

P_a ：布の含水率（絶乾状態の布にあって空気が占める体積分率， $\times 10^2$ 体積分率）

P_w ：布の含水率（布の絶乾重量いいかえれば布中の繊維重量に対する重量分率， $\times 10^2$ 重量分率）

A_w ：繊維の吸水率（繊維の絶乾重量に対する重量分率， $\times 10^2$ 重量分率）

Q_w ：系の体積膨潤（あるいは収縮）率（布の体積 V に対する体積分率）

Z_w ：繊維の体積膨潤（あるいは収縮）率（繊維の体積 $V(1-P_a)$ に対する体積分率）

V_a ：絶乾状態にある単位体積 V の布が布中に占める空気の体積 (VP_a)

V_f ：絶乾状態にある単位体積 V の布が布中に占める繊維の体積 ($V(1-P_a)$)

V_w ：単位体積 V の布が含水した水の体積 ($V(1-P_a)P_w\rho_f/\rho_w$)

V_{fw} ：布が含水した水の体積 V_w のうち繊維が吸水した水の体積 ($V(1-P_a)A_w\rho_f/\rho_w$)

V_{aw} ：布が含水した水の体積 V_w のうち空気が含水した水の体積 ($V(1-P_a)(P_w-A_w)\rho_f/\rho_w$)

V' ：絶乾状態における単位体積 V の布が含水および繊維の吸水によって膨潤または収縮したときの体積 ($V(1+Q_w)$)

$V_{f'}$ ：体積 V_f の繊維が吸水によって膨潤または収縮したときの体積 ($V(1+Z_w)$)

V_a' ：膨潤または収縮後の体積 V' の布が布中に占める乾燥空気の体積 ($V[P_a-(1-P_a)\{P_w-A_w\}\rho_f/$

$$\rho_w + Z_w\} + Q_w\})$$

λ : 湿潤布の熱伝導率

λ_f : 絶乾繊維の熱伝導率

λ_a : 絶乾空氣の熱伝導率

λ_w : 水の熱伝導率

λ_f' : 吸水繊維の熱伝導率

$$(\{(V_f - V_{fw})\lambda_f + V_{fw}(\lambda_w + \lambda_f)/2\} / V_f')$$

λ_a' : 含水空氣の熱伝導率

$$((V_a'\lambda_a + V_{aw}\lambda_w) / (V_a' + V_{aw}))$$

λ_c' : 吸水繊維の接触部の熱伝導率 $((\lambda_f' + \lambda_a')/2)$