

## 透湿防水布の快適性客観評価式の開発

金沢大学 松平光男  
(共同研究者) 大阪信愛女学院 上田博之  
短期大学  
富山女子短期大学 尾畑納子

### Development of Objective Evaluation Equation for Comfortability of Water-Resistant and Vapor-Permeable Fabrics

by

Mitsuo Matsudaira

*Kanazawa University*

Hiroyuki Ueda

*Osaka Shin-ai College*

Noriko Obata

*Toyama Women's College*

#### ABSTRACT

In order to develop objective evaluation equation for comfortability of water-resistant and vapor-permeable fabrics, heat and water transport properties of the fabrics were measured and the relation between those properties and subjective values of clothing comfort was investigated. Relative humidity change within clothes was also studied during exercise with the clothes. Following conclusions were obtained. Clothes made of fabrics with larger degree of vapor-permeability were evaluated to be more comfortable. In three methods of vapor-permeability measurement, water method was shown to be better to evaluate clothing comfort.

Clothing comfort could be roughly evaluated objectively using the data of fabric vapor-permeability by water method. If the increase of relative humidity within clothes was larger, the clothe was evaluated

to be more uncomfortable. Clothing comfort could be estimated easily from the change of relative humidity within the clothes. Clothes made of fabrics with higher thermal insulation value were evaluated more uncomfortable in this experiment. Although the pulse rate increased by exercise, the relation with clothing comfort was small.

## 要 旨

透湿防水布の快適性客観評価式の開発を目的として、布の熱・水分移動に関する熱物性値を測定し、衣服着用試験によって得られる特性値（血圧、脈拍数、衣服内温湿度変化）と併せて、衣服着用試験で得られる快適感の主観評価値との相関を検討し、以下のことが判明した。

透湿度の大きな布からなる衣服は着用快適感が大きいことがわかり、透湿度の測定方法の中では Water 法による結果が快適感との一致性が高く、Water 法だけの結果を用いて、衣服の快適感を一次的に予測できる。着用試験による衣服内の相対湿度の増加が大きな衣服は不快であり、相対湿度上昇量を用いて衣服の快適感を容易に予測できる。今回の着用試験では、保温性の大きな布からなる衣服は不快であるという結果を得た。脈拍数は運動によって増大するが、衣服の快適感との相関は小さい。

## 緒 言

飽衣の時代が叫ばれている現在、真に人間にとって快適で健康な衣服とは何か問われている。衣服の快適性を最も大きく左右する要因の一つに透湿性があり、最近外からの水滴は防ぐが中からの水蒸気は透過する、いわゆる透湿防水布がスキーウェア、ウィンドブレーカ、レインコート等のスポーツ用衣料を中心に大量に用いられている。しかしながら、これら透湿防水衣服の快適性

に関しては、必ずしも満足のいく物理的指標は得られていない。

衣服の快適性に関しては国内外で先行研究は多いが、いずれも定性的研究あるいは一部の現象のみに関する定量的研究であり、まだ客観評価式は開発されていない。そこで本研究では、布の熱・水分移動に関する特性値（透湿率、熱伝導率、保温率、その他）から、透湿防水衣服の快適性を客観的に評価する客観評価式の開発を目的とする。

## 1. 実 験

### 1.1 実験方法

布の保温率 (Thermal Insulation value = T. I. V.)、熱伝導率 (k)、および接触冷温感の指標である  $q\text{-max}^1$  はサーモラボ II<sup>1)</sup> で測定する。布の通気性は KES 通気度試験機<sup>2)</sup> で測定する。透湿率 (水蒸気透過率) は Water 法、塩化カルシウム法、および酢酸カリウム法で測定する<sup>3)</sup>。

布の保温率 (T. I. V.) は以下のように定義される。

$$T. I. V. = (W_0 - W) / W_0 \times 100 (\%) \quad (1)$$

$W_0$  ; 布のない状態の熱損失 (J/s/m<sup>2</sup>)

$W$  ; 布がある状態の熱損失 (J/s/m<sup>2</sup>)

布の保温性測定には、Dry Contact 法、Dry Space 法、Wet Contact 法、Wet Space 法の 4 種類が考えられており<sup>4)</sup>、これらは人間の皮膚をモデル化したものである。

布の見かけの熱伝導率は以下のように定義される。

$$k = W \cdot D / A / \Delta T \quad (2)$$

k ; 布の見かけの熱伝導率 (J/s/m/K)

W ; 熱板の温度を一定に保つのに必要な熱損失 (J/s)

D ; 布の厚み (mm)

A ; 熱板の面積 (= 0.0025 m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  ; 温度差 (= 10.0 K)

測定時の圧力は 588 Pa である。

q-max は熱容量 4186 J/K/m<sup>2</sup> の銅板 (質量: 9.79 g, 面積: 9 cm<sup>2</sup>) からの熱流量の最大値として計測され, この値が大きいほど布に接触時に感じる冷感が強い。

布の通気度は, 一定量の空気が布を通過するときの通気抵抗として計測される。

$$R = \Delta P / V \quad (3)$$

R ; 通気抵抗 (Pa · s/m)

$\Delta P$  ; 布の表面と裏面との間の圧力差 (Pa)

V ; 単位面積あたりの空気流れ (m/s)

透湿率はつぎの三法で測定する。

Water 法:

一定量の水をピーカに入れ, 試料布でフタをする。ピーカは恒温恒湿室 (20 ± 0.3°C, 65 ± 3% RH) 内に放置し, 布を透過する水蒸気の量をピーカ全体の重量減少から追跡する。

塩化カルシウム法:

塩化カルシウム入りのピーカを試料布でフタをして, 高温 (40 ± 2°C), 高湿 (90 ± 5% RH)

条件下の容器内に放置し, 1 時間後の重量増加より求める。

酢酸カリウム法:

飽和酢酸カリウム入りのピーカを試料布でフタをして, 上下を逆にして水中に入れ, 布を透して入る水の量を 15 分後の重量増加から求める。ただし, 布にはポリテトラフルオロエチレンの補助膜を用いる。

## 1.2 試料布

実験に用いた試料布の概略を表 1 に示す。これらはなるべく基布は同一で, 透湿機能が異なるように選んだ布である。これらの布から同一サイズ, 構造のウィンドブレーカ (上衣) を製作し, 着用試験に用いた。

## 1.3 着用試験

被験者には健康な女子学生 7 名 (年齢: 20 ~ 23 歳) を用いた。下半身はパンティとジーンズを着用し, 上半身はブラジャーと T シャツを着用し, その上からウィンドブレーカを着用した。胸 (Front) および背中 (Back) の中心部に温湿度センサーを取り付け (皮膚上: 2 mm), 運動時および休息時の衣服内温湿度を追跡した。実験は恒温恒湿室 (20 ± 0.3°C, 65 ± 3% RH) 内で行った。その手順は以下のようなものである。

1) 温湿度センサーを取り付け, ウィンドブレーカを着用し, 安静を保つ (約 10 分間)。血圧および脈拍数を計る。

表 1 Outlines of Fabric Samples

Sample No	Fiber Structure	Yarn Density (/m)		Thickness* (mm)	Weight (g/m <sup>2</sup> )	Kind of Treatment	Type of Treatment
		Warp	Weft				
A	Polyester Plain	6000	4400	0.227	96	Azekura-1	Coating
B	Polyester Plain	6000	4400	0.229	117	Azekura-2	Coating
C	Polyester Plain	6000	4400	0.233	124	Entrant-G	Coating
D	Polyester Plain	6000	4400	0.239	120	Entrant-2	Coating
E	Polyester Plain	6000	4400	0.203	116	Saitos-AQ	Laminate
F	Polyester Plain	4800	4600	0.285	114	Goretex	Laminate

\* Thickness is measured at the pressure 588 Pa

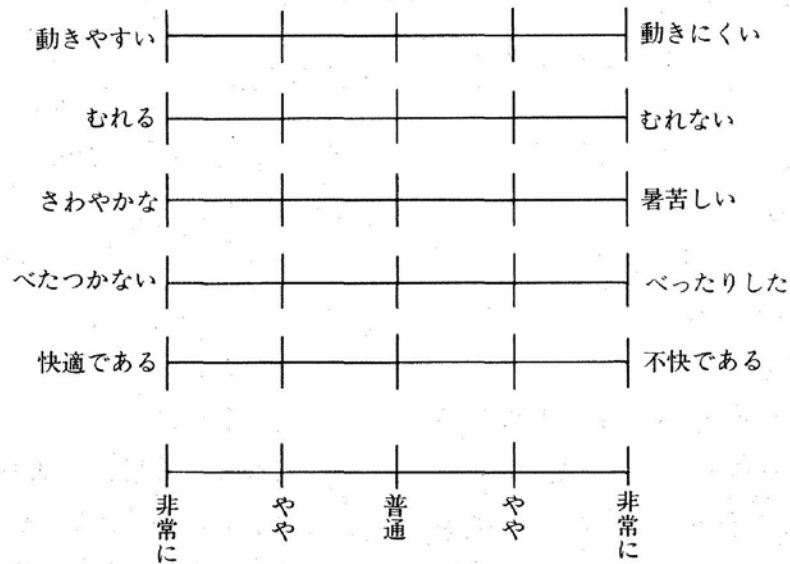


図1 Items for subjective evaluation of clothing comfort

2) ウィンドブレーカの着用快適感に関する主観評価の質問に答える。質問項目は図1に示す。項目の左右はサイコロを用いてランダムに決定した。

3) 自転車エルゴメータで5分間運動し、その後10分間の休息をとる。この操作をさらに2回繰り返す。運動負荷はできる限り一定とし、1.5 kgの荷重で40 rpmを維持した(約50 J/s)。

4) 運動、休息の3サイクル後、血圧および脈拍数を計る。

5) ウィンドブレーカの着用快適感に関する主観評価の質問に答える。

## 2. 結果

### 2.1 透湿防水布の熱・水分移動に関する特性値

基本的な特性値の結果を表2に示す。これらはいずれも3枚の布の平均値である。保温率については、Dry Space法では試料間の差はほとんど認められなかった。全般的にみて、試料Fの保温性が高く、試料Bの保温性が低いという結果である。

熱伝導率については、試料間の差は小さかった。測定に際し熱が基布から樹脂側に流れる場合

表2 Results of Basic Characteristic Values of Thermal and Physical Properties

Sample No	Thermal Insulation Value				Thermal Conductivity (J/s/m/K)	q-max		Vapor Permeability			Air Permeability (Pa · s/m)
	Dry-C (%)	Dry-S (%)	Wet-C (%)	Wet-S (%)		Fabric (J/s/m <sup>2</sup> )	Resin (J/s/m <sup>2</sup> )	Water (g/m <sup>2</sup> /h)	Calcium (g/m <sup>2</sup> /h)	Potassium (g/m <sup>2</sup> /h)	
A	10.9	54.7	20.7	65.1	0.053	0.096	0.100	11.96	499	1214	27.6
B	5.8	54.7	26.9	62.2	0.055	0.096	0.117	11.31	516	728	—
C	8.0	55.4	30.6	62.9	0.060	0.105	0.122	10.92	558	716	—
D	8.0	54.7	48.7	68.7	0.055	0.099	0.118	9.62	330	219	—
E	13.0	55.4	34.3	65.5	0.053	0.102	0.123	10.14	224	724	—
F	22.7	53.4	51.9	69.6	0.052	0.114	0.089	9.36	221	302	—

(熱板が基布に接触)とその逆の場合とでは、差はまったく認められなかった。

q-max については、基布側と樹脂側とで差が認められ、試料 F を除いて樹脂側の値が大きかった。ウィンドブレーカでは樹脂側が肌に接触するため、樹脂側の値がより重要と考えられる。試料間の差はそれほど大きなものではなかった。

透湿率については、三種類の方法間で絶対値は大きく異なっているが、ほぼ同様な傾向を示している。

通気性については、試料 A のみ計測可能であり、ほかは通気抵抗が大きすぎて計測不能であった。

### 2.2 着用試験における客観評価

運動前後の最高血圧、最低血圧、および脈拍数の変化結果を被験者 7 名の平均値と標準偏差で表 3 に示す。最高血圧および最低血圧については、運動後若干増大しているようだが、個人差が大きく、有意差は認められなかった。試料衣服間の相違もまったく認められなかった。脈拍数について

表 3 Results of Physiological Indices Changes Before and After Exercise

Sample Na	Maximum Blood Pressure				Minimum Blood Pressure				Pulse Rate			
	Before		After		Before		After		Before		After	
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
A	113	5.0	114	3.6	71	2.1	72	2.7	79	11	96*	17
B	111	3.0	116	5.7	71	9.0	72	1.4	79	9.8	102**	21
C	114	5.8	116	5.3	72	3.1	72	2.7	81	7.8	104**	20
D	113	2.7	116	6.7	70	3.1	72	2.7	74	6.9	90**	14
E	117	4.0	123	16	73	5.1	72	2.5	82	7.1	96*	10
F	114	5.6	115	6.9	72	1.6	71	2.2	82	5.6	96*	12

\* : significant level ; 5 % \*\* : 1 %

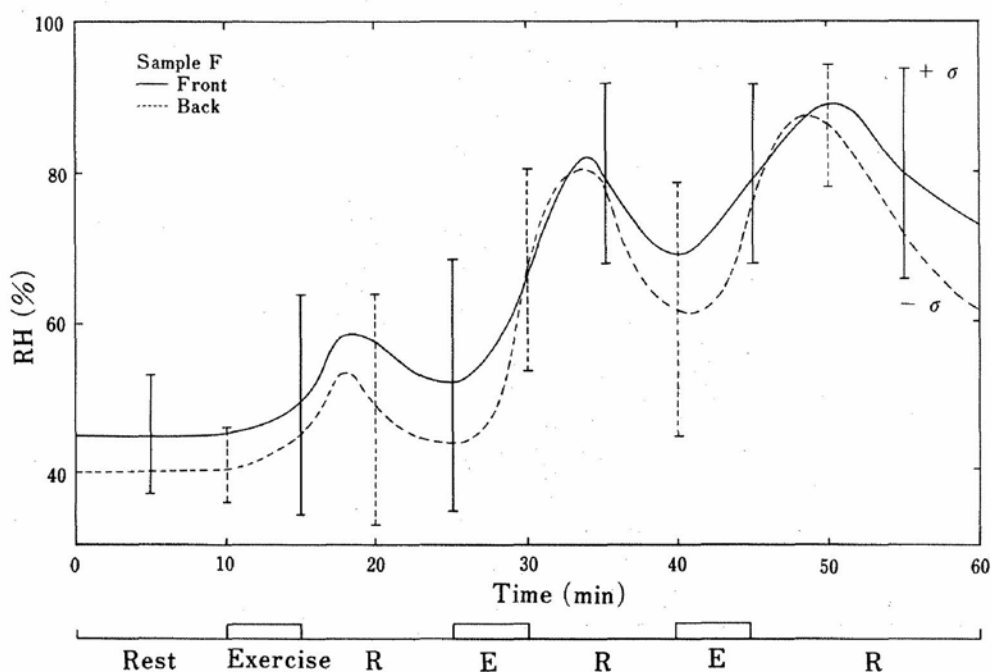


図 2 Relative humidity change within clothes No.F during exercise. Data are averaged value of 7 panels

は、運動後は明らかに増大していたが、試料衣服間の相違は認められなかった。

温度については、運動による変化は認められなかったが、湿度変化は顕著であった。湿度変化が最も顕著であった試料Fの結果を図2に示す。こ

の曲線は被験者7名の結果を平均した曲線であり、上下に標準偏差も示してある。一度目の運動では湿度上昇は少ないが、二度、三度と繰り返すごとに湿度が大幅に高くなっている様子が明らかである。また、胸に比べて背中の方が湿度変化は

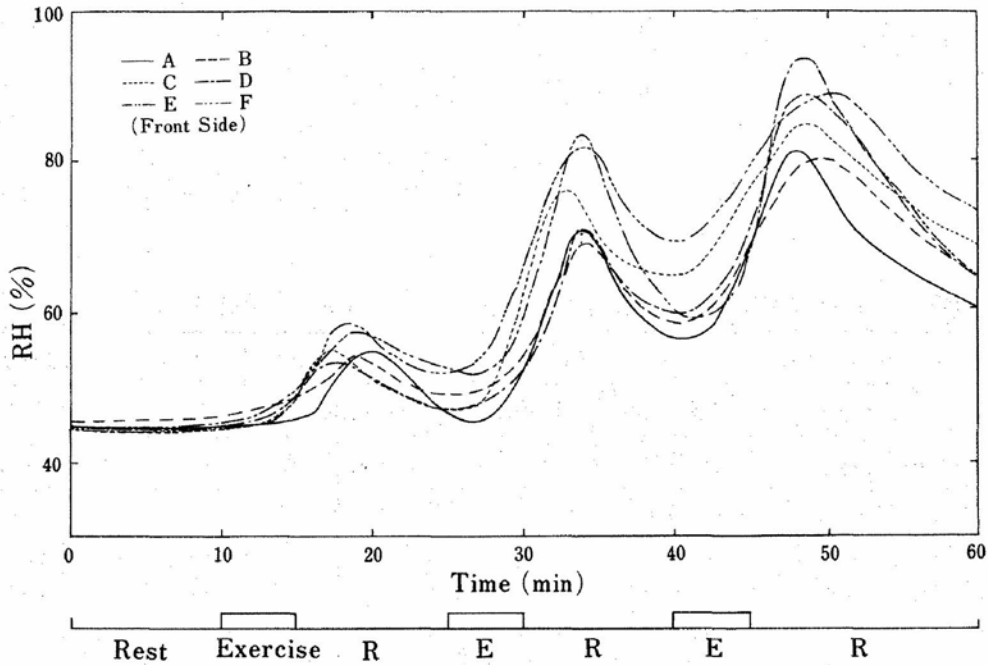


図3 Relative humidity change within all the clothes examined here during exercise ; front side

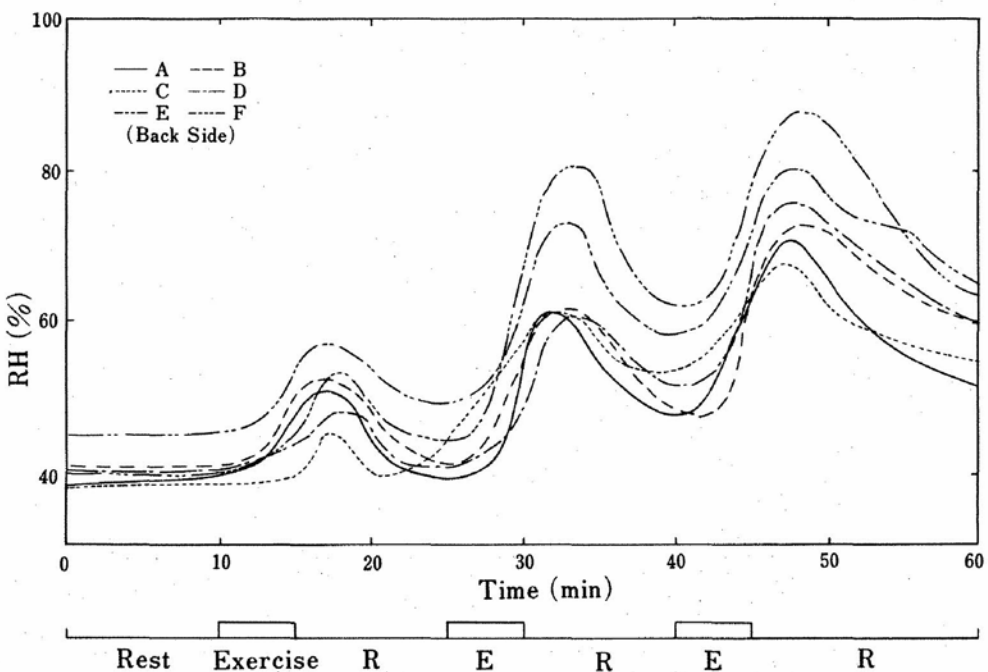


図4 Relative humidity change within all the clothes examined here during exercise ; back side

表4 Relative Humidity Change (%) After Exercise

Sample		A	B	C	D	E	F
1st exercise (after 25 min)	Front	0.6	1.8	1.8	2.7	8.4	7.0
	Back	0.0	0.8	6.5	0.0	4.7	3.3
2nd exercise (after 40 min)	Front	12.8	12.0	18.7	15.9	15.9	23.8
	Back	8.9	7.5	15.0	11.1	12.9	20.8
3rd exercise (after 55 min)	Front	21.9	25.4	29.3	29.2	29.6	35.4
	Back	17.3	22.8	19.5	25.0	27.6	29.8
Total Change		61.5	70.3	90.8	83.9	97.3	120.1

小さい様子が示されている。この傾向は他の試料についても同様であり、胸および背中の結果を全試料でまとめて、おのおの図3、4に示す。ここで、衣服の快適性には衣服内の湿度上昇が大きく効いていると考えられるため、運動停止10分後の湿度三点を求め表4に示す。また、これら三点を合計した値も示しておいた。この全湿度変化の値には試料間の差が顕著に現れていることがわかる。すなわち、試料Aは湿度変化が小さく、試料Fは全湿度変化が大きい。この値を相対湿度変化

の客観評価値とする。

### 2.3 着用試験における主観評価

ウィンドブレーカの着用快適感に関する主観評価の結果例を試料Fで図5に示す。SD法<sup>5)</sup>にならって点数化し、被験者7名の平均値と標準偏差の結果を図示したものである。運動前後では明らかに差が生じており、運動によってすべての項目がより不快な方向に変化している。この傾向は他のすべての試料についても同様であるため、運動前後の点数差を求めまとめた結果が表5である。

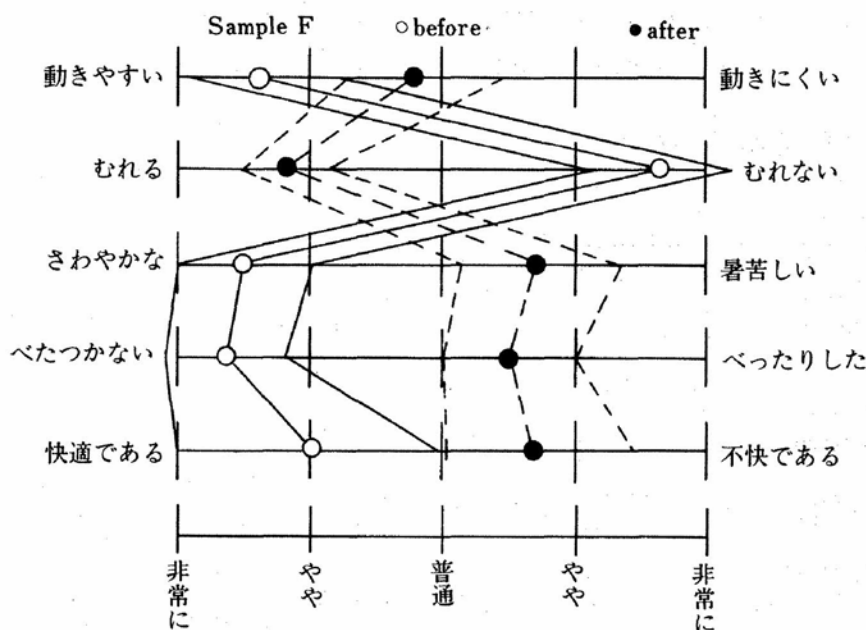


図5 Results of subjective evaluation of clothing comfort ; before and after exercise



表 5 Score of Subjective Evaluation of Clothes Before and After Exercise

Sample	A	B	C	D	E	F
Hard to move	0.57	0.57	0.67	0.72	0.46	1.16
Become stuffy	1.86	1.86	1.57	1.71	1.87	2.77
Hot and close	1.57	1.86	1.60	2.06	1.57	2.33
Sticky with sweat	1.13	1.00	1.83	1.34	1.86	2.17
Uncomfortable	1.14	1.06	1.17	1.20	1.28	1.67
Total score	6.27	6.35	6.84	7.03	7.04	10.10

質問五項目をすべて足し合わせた合計点も示しておいた。この点数が大きいくほど、運動前後の快適感の差が大きい、すなわち運動によってより不快になっていると考えることができる。この値を主観評価値（不快適感）として採用する。

### 3. 客観評価値と主観評価値との相関

透湿防水布の熱・水分移動に関する特性値や着用試験における客観評価値と着用試験における不快適感との相関係数を表 6 に示す。本結果から、保温性の高い布で製作した衣服は不快適感が大きいことがわかる。透湿度に関しては三種類の手法とも、透湿度が大きいくほど不快でない、すなわち快適性が高い結果であるが、とりわけ Water 法による結果との相関が高かった。運動後の全湿度

表 6 Correlation Coefficient Between Total Score of Uncomfortability of Clothes and Fabric Properties

Fabric Properties	Correlation coefficient
T.I.V. (Dry Contact)	0.91**
T.I.V. (Wet Contact)	0.78*
T.I.V. (Wet Space)	0.72
Thermal Conductivity	-0.40
q-max	-0.67
Vapor Perm. (Water)	-0.75*
Vapor Perm. (CaCl <sub>2</sub> )	-0.67
Vapor Perm. (CH <sub>3</sub> Cook)	-0.62
Change of the Pulse Rate	-0.57
Total RH Change	0.89**

\*significant level ; 10% \*\*5%

変化との相関はとりわけ高く、全湿度変化の大きな衣服は不快であることが明確に示されたと言える。

### 4. 考 察

本研究では最終的には、透湿防水衣服の快適感を客観評価する客観評価式の開発を目的としたが、現状ではまだまだそこまで達していない。保温率、熱伝導度、透湿度、全湿度変化、等を変数にして、不快適感との多重回帰式も考えたが、試料数が 6 点では無理があった。今後試料数を増やして同様な検討を続けるつもりである。しかしながら、現在の時点で強引に客観評価式を提案するとすれば、以下の二式を提案できる。

$$y = 0.061x + 1.951 \quad (4)$$

y ; 衣服の不快適感

x ; 着用試験による全湿度増加量

$$y = -1.03x + 18.17 \quad (5)$$

x ; Water 法による布の透湿度

これら二式を使って、第一近似的には衣服の快適感を評価することができると考えられる。着用試験が容易に行えない場合には、布の透湿度を Water 法で求めておきさえすれば、(5) 式を使って、きわめてラフではあるが、衣服の快適感を予測できると考えられる。

### 5. 結 論

透湿防水布の快適性客観評価式の開発を目指して、布の熱・水分移動に関する特性値と衣服着用試験による快適感の主観評価値との相関を求めたところ、以下の結論を得た。

1) 透湿度の大きな布からなる衣服は快適感が大きく、Water 法による結果のみを用いて、衣服の快適感を一次的に予測できる。

2) 着用試験による衣服内の相対湿度の増加が大きな衣服は不快である。

3) 保温性の大きな布からなる衣服は不快であ



る。

4) 脈拍数は運動によって増大するが、衣服の快適感との相関は小さい。

#### 謝 辞

透湿防水布およびウィンドブレーカは小松精練(株)より提供していただいたことに感謝致します。

#### 文 献

- 1) 川端季雄; 繊維機械学会誌 (論文集), 37, T 130 (1984)
- 2) 川端季雄; 繊維機械学会誌 (論文集), 40, T 59 (1987)
- 3) 日本工業規格, JIS L-1099
- 4) 松平光男; 日本家政学会誌, 29, 987 (1988)
- 5) 増山, 小林; “センサリー・エバリュエーション”, pp16, 垣内出版, 東京 (1989)