

論文

綿布の快適性に関わる熱・水分特性の抽出
— スキンモデルを用いたシミュレーション実験 —山田 巧*¹⁾ 岩崎 謙次*¹⁾Selecting Heat / Water Vapor Property Test Related to Clothing Comfort
for Cotton Fabric by Skin ModelTakumi Yamada*¹⁾, Kenji Iwasaki*¹⁾

In order to determine the heat and water vapor transfer properties of various fabrics seemed relating clothing comfort, 14 kinds of fabrics made by cotton were evaluated using a skin model which simulating the human skin. The physical characteristics of each sample were measured by JIS. And the changes of a micro-climate, of a temperature and humidity, between the test fabric and the surface of the skin model were measured during experiment, which consisted of dry, sweating, dry again conditions. The data obtained by skin model which considered to relate to clothing comfort and the characteristics of fabric were analysis by correlation analysis. As the results, the dampness showed high correlation coefficient with weight, thickness, air porosity, water vapor permeability, air permeability of fabrics. From these results, a high correlation between the index measured by the skin model and the physical properties value by JIS standard were found. And the prediction of clothing comfort from the physical properties of fabrics would be possible in this study.

キーワード：衣服の快適性，衣服内環境，スキンモデル，非定常状態，布の熱・水分移動特性

Keywords：Clothing comfort, Clothing environment, Skin model, Transitional micro-climate, Heat/Water vapor transfer of fabric

1. まえがき

人体から発する体熱・汗は絶えず衣服を介して環境へと拡散される。このため，身体—環境の系に介在する衣服の熱・水分移動特性はヒトの快適感を左右する重要な因子である。熱・水分移動特性に関わる布側の因子として厚みや重量といった諸元，または JIS や ISO によって規定される保温性，通気性，透湿性などがある。しかし，制御された条件下でのシンプルな評価であり，あくまで個別の相対評価のための手法に留まっている。一方，衣服の快適性における実践的な評価手法として，ヒト型サーマルマネキンや熱・水分共存系平板型装置スキンモデルなどを用いたシミュレーション実験が有効とされる。しかし，これらシミュレーション実験から得られた衣服内気候変動データと個別の布特性との関係性は十分明らかになっていない現状にある。そのため現状では，快適な衣服を設計しようとする際，どの特性が着用時の衣服内気候に大きく関与するか，あるいはどの特性評価が重要かといった明確な指針はない。本研究はスキンモデルを用いた着用シミュレーション実験より，得られた温湿度変動と JIS 規格における布諸元及び快適性に関わる諸特性との相関関係について検討し，快適な衣服設計に必要な特性を抽出することを目的とした。

*¹⁾ 墨田支所

2. 測定方法

2. 1 試料 試料は平織りを中心とする綿 100%の織物 14 種とした。試料 1 より厚みが高くなる布を選定した。
2. 2 諸元及び物性 表 1 に試料の諸元並びに快適性に関わる物理的特性を示す。測定条件はいずれも JIS L に準拠して行った。通気性はフラジール形 (L 1096 : 1999 A 法)，吸湿性は公定水分率 (L 0105 : 2006)，透湿性はウォータ法 (L 1099 : 2006 A-2 法)，吸水性はラローズ法 (L 1907 : 2004 表面吸水法)，保温性は恒温法 (L 1096 : 1999 A 法) を用いた。含気率はみかけの比重と綿の比重 1.54 より求めた⁽¹⁾。

表 1. 試料の諸元及び物理特性

試料	糸密度(たて/よこ)		厚さ (mm)	重量 (g・m ⁻²)	見かけの比重 (-)	含気率 (%)	通気性 (m ³ ・m ⁻² ・s ⁻¹)	吸湿性 (%)	透湿性 (g・m ⁻² ・h)	吸水性 (ml・min ⁻¹)	保温性 (%)
	(本/cm)	(本/cm)									
1	57	28	0.43	126	0.30	80	13.8	6.9	183.1	0.34	24.0
2	30	27	0.52	98	0.19	87	89.0	6.9	181.5	0.44	23.2
3	46	15	0.65	188	0.29	81	10.6	7.4	180.8	0.09	23.9
4	42	28	0.67	117	0.17	88	29.1	6.7	183.8	0.02	25.7
5	45	23	0.70	199	0.28	81	14.3	7.6	168.2	0.06	24.1
6	48	21	0.72	274	0.38	75	8.0	7.3	175.4	0.35	23.6
7	25	23	0.72	148	0.20	86	41.2	7.6	167.7	0.24	25.9
8	88	44	0.79	263	0.34	78	46.4	7.0	180.5	0.01	23.0
9	47	21	0.81	274	0.34	77	12.5	6.5	161.5	0.03	26.0
10	37	33	1.00	112	0.11	93	53.8	7.4	188.6	0.14	28.8
11	40	24	1.06	275	0.26	83	7.3	7.6	161.6	0.08	23.6
12	27	16	1.19	346	0.29	81	3.8	7.1	153.8	0.03	27.8
13	25	7	1.47	394	0.27	82	6.1	7.0	166.9	0.05	26.7
14	66	40	1.56	735	0.47	69	1.3	6.8	128.2	0.01	27.5

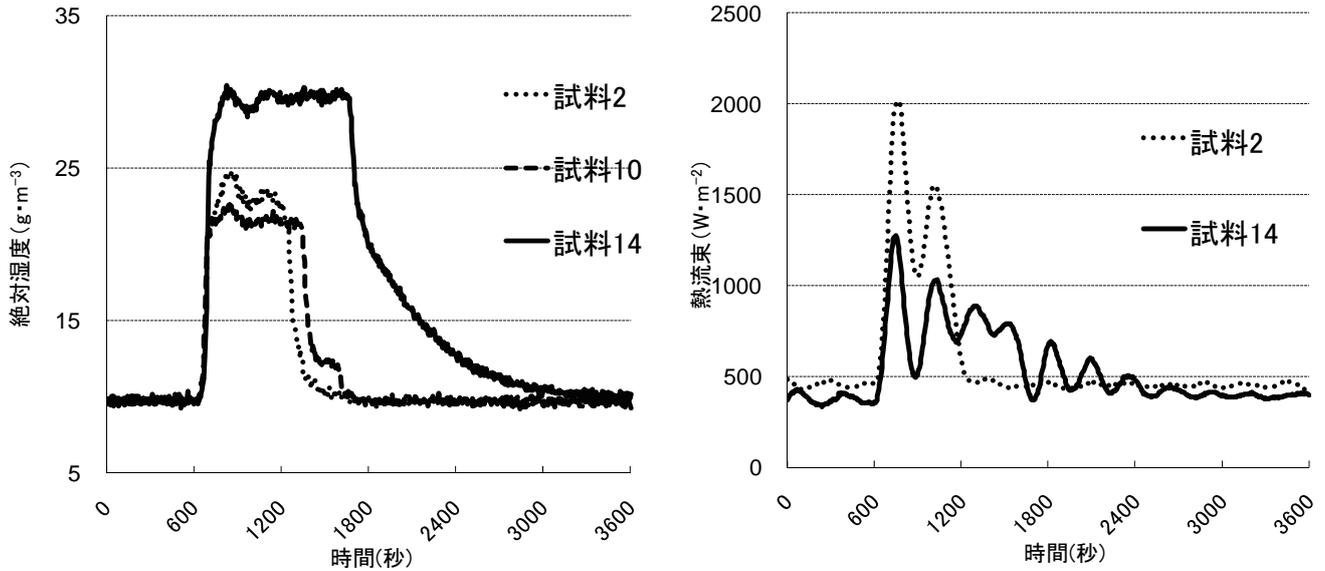


図1. 吐水に伴う湿度 (左) 及び熱流束変化 (右)

2. 3 スキンモデルの測定条件 本研究における着用シミュレーション実験には文化女子大学田村らが開発した熱・水分共存系装置スキンモデルを用いた。測定は 20°C 65%R.H.に制御された恒温恒湿室で行った。 34°C 定温度に制御され熱板中央に温湿度センサーを配し、試料布で覆った状態で熱板—布間に介在する空気層の温湿度 ($^{\circ}\text{C}$, $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), 熱板の熱流束 ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) を計測した。測定条件は 10 分間乾燥状態で安定させ、その後熱板全面が湿潤するまでチューブポンプによる吐水を 2 分間行い、再び乾燥状態を保った状態へと変化させ、1 試料の測定時間は 1 時間とした。

3. 結果及び考察

3. 1 湿度並びに熱流束変化 図1に試料14種のうち、最も特徴的な挙動であった試料の結果を示す。全体的な挙動をみると、測定開始10分経過時の吐水開始より急に上昇し、一定時間飽和状態を保った後、再び収束する傾向がみられた。湿度変化が小さかったのは試料10 ($22.8\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$)であり、最も大きい変化を示したのは試料14 ($30.2\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$)であった。湿度の下降時間は試料2 (1245 sec)が最も速く、試料14 (1665 sec)が最も遅かった。その他試料は試料10から14のデータ範囲に位置し、いずれも近似した挙動を示した。熱流束は湿度に連動して変化する傾向であった。吐水後最も極大値が高かったのは試料2 ($1562.8\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)であり、最も低い値を示したのは試料14 ($898.2\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)であった。極大値を示した後の挙動をみると、いずれもオーバーフローを繰り返した後、収束する傾向を示した。これは湿度の変化時間と比較すると、熱流束値が安定するより前に湿度が完全に外気へと放散されたためであると推察される。したがって、極大値以降の挙動においては、試料間による違いを検討することが困難であった。

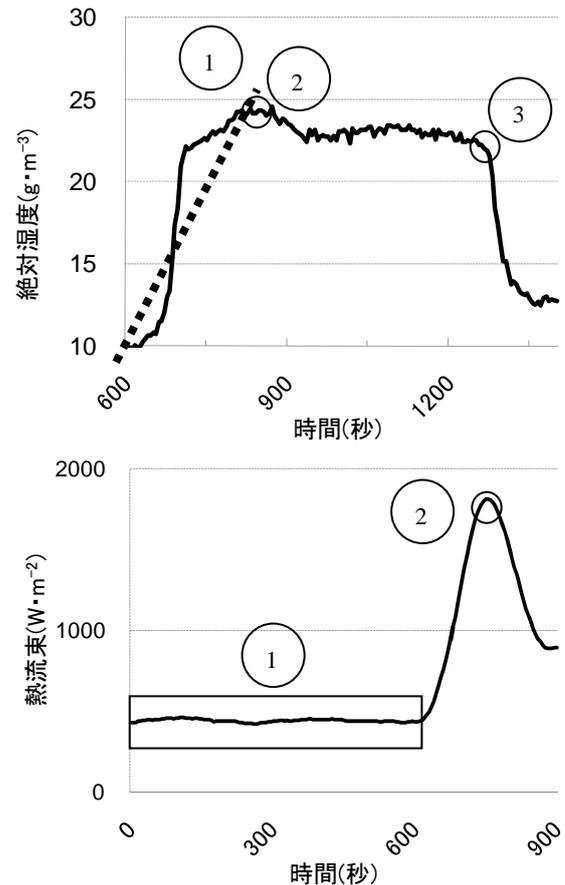


図2. 区間データ抽出ポイント

(上: 湿度データ①傾き②極大値③下降時間、
下: 熱流束データ①安定時平均②極大値)

これらの結果から、吐水後の湿度の挙動、吐水前の熱流束から極大値までは類似した傾向を示すものの、そのレベルや変化時間は試料毎に異なり、布の特性が複合的に関与していることが示唆された。

表2. 各試料の区間データ

試料	水分特性			熱特性	
	①	②	③	①	②
	傾き (-)	最大値 ($g \cdot m^{-3}$)	下降時間 (sec)	①安定時 ($W \cdot m^{-2}$)	②最大値 ($W \cdot m^{-2}$)
1	0.054	24.6	1275	442.8	1369.2
2	0.062	24.8	1245	454.7	1562.8
3	0.060	25.3	1305	444.9	1367.1
4	0.064	23.4	1365	444.9	1346.1
5	0.067	23.9	1380	424.2	1284.6
6	0.073	26.8	1350	441.3	1171.6
7	0.060	24.0	1290	421.6	1487.8
8	0.061	24.4	1310	449.2	1345.1
9	0.064	25.2	1360	451.4	1266.4
10	0.053	22.8	1335	402.3	1289.5
11	0.075	26.4	1365	442.8	1290.5
12	0.074	26.6	1470	416.6	1144.0
13	0.078	27.3	1495	401.0	1058.4
14	0.084	30.2	1665	377.4	898.2

表3. 諸元・物性の相関表

項目		組成				物性					
		糸密度 たて糸	糸密度 よこ糸	厚さ	重量	含気率	通気性	水分率	透湿性	吸水性	保温性
組成	糸密度 たて糸	-									
	糸密度 よこ糸	0.74	-								
	厚さ	-0.08	-0.07	-							
	重量	0.28	0.13	0.83	-						
物性	含気率	-0.57	-0.14	-0.33	-0.77	-					
	通気性	-0.09	0.38	-0.43	-0.55	0.61	-				
	水分率	-0.27	-0.18	-0.07	-0.24	0.26	-0.02	-			
	透湿性	-0.05	-0.03	-0.73	-0.89	0.67	0.54	0.14	-		
	吸水性	-0.24	-0.05	-0.57	-0.46	0.21	0.48	0.13	0.41	-	
	保温性	-0.34	-0.07	0.65	0.36	0.14	-0.17	-0.15	-0.38	-0.40	-

3.2 区間データの抽出 スキンモデルによって得られた湿度及び熱流束変化に及ぼす布の特性値(表1)の影響を探るため、これら連続したデータから特定の指標を求める必要がある。したがって、図1の湿度及び熱流束より区間データを抽出し、全ての試料について値をサンプリングした。求めた指標はそれぞれ湿度:①吐水開始から極大値までの傾き(-)②吐水後の極大値($g \cdot m^{-3}$)③湿度の平衡状態からの下降時間(sec)、熱流束①吐水前安定時の平均値($W \cdot m^{-2}$)、②吐水後の極大値($W \cdot m^{-2}$)とした。区間ポイントを図3、抽出された値を表2に示す。

3.3 諸元と区間データの相関 表1に示した布の諸元並びに物性と図2で抽出した区間データとの関係を求めるため、全データについて相関分析を行った。

表3に諸元並びに物性間の相関係数を示す。それぞれ糸密度・厚さ・重量・含気率を布の諸元、通気性・水分率・透湿性・吸水性・保温性を物性と2つに分類して示した。諸元のうち、厚さ—重量(相関係数 $r=0.83$)の相関が、重量—含気率(-0.77)の間で高い逆相関を示した。物性では透湿性が厚さ(-0.73)、重量(-0.89)、含気率(0.67)と最も多くの布諸元と相関が高い特性であることが示された。また、通気性は重量(-0.55)、含気率(0.61)、吸水性は厚さ(-0.57)、保温性は厚さ(0.65)とやや高い相関係数を示した。

これら表1の諸元並びに物性と表2のスキンモデルからの区間データとの間の相関を求めた(表4参照)。湿度から

表4. 諸元・物性と区間データとの相関

	水分特性			熱特性	
	①	②	③	①	②
布組成	重量 ^(0.84)	重量 ^(0.96)	重量 ^(0.92)	厚さ ^(-0.81)	重量 ^(-0.88)
	厚さ ^(0.76)	含気率 ^(-0.80)	厚さ ^(0.89)	重量 ^(-0.66)	厚さ ^(-0.84)
	含気率 ^(-0.60)	厚さ ^(0.74)	含気率 ^(-0.56)		含気率 ^(0.64)
布特性	透湿性 ^(-0.81)	透湿性 ^(-0.86)	透湿性 ^(-0.84)	保温性 ^(-0.77)	透湿性 ^(0.72)
	通気性 ^(-0.57)	通気性 ^(-0.58)	保温性 ^(0.58)	透湿性 ^(0.59)	通気性 ^(0.70)
			通気性 ^(-0.58)		
		吸水性 ^(-0.57)			
(相関係数): 1%, 5%					

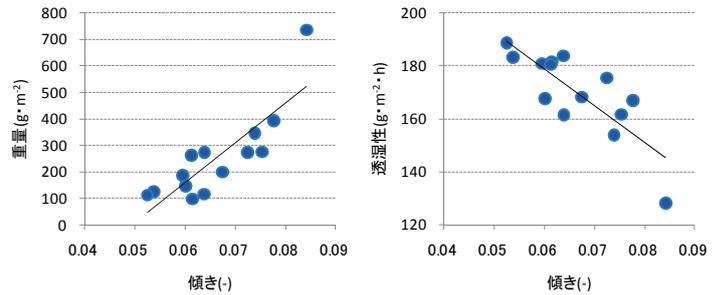


図3. 水分特性①傾きと布重量(左)及び透湿性(右)との関係

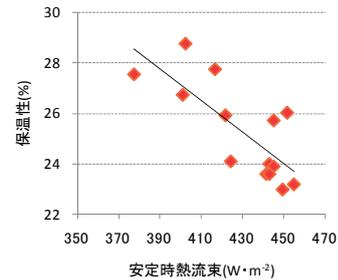


図4. 熱特性①安定時の平均熱流束と保温性との関係

抽出した指標を水分特性①傾き、②極大値、③下降時間、そして熱流束から抽出した指標を熱特性①安定時の平均値②極大値に分けて示す。

水分特性①②③に対する布諸元をみると、糸密度を除く厚さ、重量、含気率との間に高い相関が得られ、重量はいずれの項目でも高い相関係数を示した。一方、布特性では、透湿性が①②③いずれの指標とも相関が高く、次いで通気性との相関が高かった。③では他に保温性、吸水性が相関の高い因子として明らかとなった。図3に湿度の傾きと重量及び透湿性との関係を示す。最も厚い試料14が他の分布と離れてプロットし、相関係数の高さに影響していると考えられるが、試料14の値を除去しても高い相関傾向は変わらなかった。また、表3の相関表をみると、透湿性は厚さ、重量、含気率いずれの諸元とも相関が高いため、他の特性よりも高い相関が得られたものと考えられる。

熱特性についてみると、高い相関係数が得られた項目と

して①安定状態における熱流束の平均値では厚さ・保温性、②極大値では重量・厚さ・含気率・透湿性・通気性であった。吐水前の水分が関与しない状態では布の保温特性に影響するといわれる厚さと重量が、そして保温性の値そのものが関与していることが示された。一方、吐水後の②極大値で得られた項目は、水分特性の①傾きと近似した結果であった。このことから、湿潤状態における熱流束の挙動は、布の熱特性よりも水分特性の寄与が大であることが考えられる。

着衣シミュレーション実験から抽出された結果を着心地の指標として用い、快適性を考慮した布設計についての考察を加えた。過去の衣服の快適性に関する研究事例から、表4の相関関係を検討することによって、各区間データの指標を以下のように捉えることができる。

(1) 水分特性 ヒトは急な湿度変化によって、強いむれ感が引き起されること⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾が明らかにされている。このことから、①吐水後の傾きはむれ感の強さに関する因子とすることができる。表4の相関関係より、むれ感を抑える布に必要な特性は、軽くて薄く、透湿性あるいは通気性に優れたものである。また、②の極大値をヒトの発汗時の湿潤感の強さとすると、この感覚を軽減するには軽く、薄くて含気率の低い布であり、透湿性と通気性に富んだ布が必要である。③の下降時間を湿潤状態からの回復性とすると、衣服層に残留する水分を素早く外気へ拡散させるには、他と同様軽くて薄く、透湿性、通気性、吸水性に優れた布が必要であると考えられる。

(2) 熱特性 熱特性についてみると、①安定状態における熱流束の平均値は布を介しての放熱量、すなわち布の保温性に置き換えることができる。図4から①の相関項目をみると、保温性に関係するとされる厚さ、重量ともに高い相関が得られ、JISによる保温性とも-0.77と高い相関係数を示している。

以上の結果より、着用状態を想定したスキンモデルによる指標とJIS規格による物性値との相関関係が明らかとなり、各物性による発汗から湿度の収束にいたる衣服内気候予測への可能性が示された。また、布諸元と物性と組み合わせにより、快適な布設計への物性要因が明らかとなり、快適性に対する効率的な評価項目の提示が可能となった。

衣服の快適性評価においては、ヒトと同様の曲率部位、皮膚温分布を有するサーマルマネキンが有効であるとされている。しかし、全身の汗を再現することが困難であり、諸元の違いや素材の違いなど、客観的かつ精密な水分特性を評価することは困難な現状にある。したがって、快適性評価において重要な因子である布の水分特性を対象として、実際の衣服内気候の過渡的応答を観測し、評価を行うには本研究のような平板型スキンモデルを用いたシミュレーション評価を行うことが有効であると考えられる。

4. まとめ

本研究は文化女子大学の田村らが開発した着衣シミュレーション装置スキンモデルを用い、衣服内気候と布諸元及び物性との相関関係から、快適な衣服設計への指標となる特性を抽出することを目的とした。綿100%の織物14種を対象とし、布の諸元及び物理的特性を計測した。スキンモデルによる測定では布-熱板に介在する空気層の温湿度並びに熱板からの熱流束を測定した。各試料について汗を模擬した吐水後の温湿度の挙動を観察した。得られた温湿度データより、着心地に関連すると考えられる区間データを抽出し、布の緒言及び物理的特性値との相関分析を行った。結果、水分特性において湿度の傾きや最大値をむれ感、湿潤感の指標とすると、これ関与する布の諸元として重量、厚さ、含気率が、物性項目として透湿性、通気性が抽出された。吐水後の熱特性については、布の熱に関わる特性よりも水分特性の関与が大であることが示唆された。

本研究によるスキンモデルを用いたシミュレーション実験によって、衣服内気候の変化は布特性の複合的に関与によって起きていることが明らかとなった。また、スキンモデルによる指標とJIS規格による物性値との相関が明らかとなり、各物性値による衣服内気候の予測が可能であることが示された。また、快適な着心地に必要な物性要因が明らかとなり、重要となる評価項目の提示が可能となった。

しかし、本実験で用いた試料は綿の同一素材に限定したため、疎水性繊維との混用率による違い、またニット素材の検討には至らなかった。今後、混用率の異なる布、またはニット地の測定など、より多くの布データを蓄積することが今後の課題である。また、本研究で試みた平板型シミュレーション装置を用いた評価・予測から、サーマルマネキンを用いた衣服のデータ、着用実験との整合性を検討し、より精度の高い衣服の快適性評価へとつなげてゆきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力いただきました文化女子大学大学院田村照子教授に、厚く御礼申し上げます。

(平成22年6月30日受付、平成22年8月20日再受付)

文 献

- (1) 田村照子：「基礎被衛生学」, pp. 82-83 (2001)
- (2) 諸岡晴美, 丹羽雅子：「被服材料の水分移動特性と着用感-1-着用感に關係する生理的因子および衣服の物理的性質」, 家政学雑誌, Vol. 30, No. 4 pp. 320-327 (1979)
- (3) 諸岡晴美, 丹羽雅子：「被服材料の水分移動特性と着用感-2-着用感に影響を及ぼす水分移動特性」, 家政学雑誌, Vol. 30, No. 4 pp. 328-335 (1979)
- (4) 内藤 道子, 中島 利誠, 松川 哲哉：「布地の透湿性に関する研究-5-ポリエステル布の通気性と透湿性」, 家政学雑誌, Vol. 27, No. 6 pp. 441-445 (1976)