

《小特集》

布風合いの客観評価システム

川 端 季 雄*

ABSTRACT After the performance of clothing fabric in use has been satisfied to some extent, consumers seek better-quality, that is, better fitting to human sense. This kind of fabric performance is essentially important and has been evaluated by subjective method called fabric hand evaluation. For the engineering design of this fabric performance, this subjective method must be replaced by objective method. The development of the objective system has been carried out in these 20 years. The method is: fabric mechanical parameters are converted by the first conversion equations (Equation type I) to the hand values of three primary hands which characterize fabric hand property such as stiffness etc., then these hand values are converted into the quality number (T.H.V.) by the second conversion equation (Equation type II). These equations were determined on the basis of the subjective hand judgement by experts of hand evaluation. The prediction accuracy of the objective system is discussed.

1. 布の風合い評価システム開発の背景

人類はその活動範囲を多様な環境に広げるにつれて、身体を護るために衣服を身に着けた。その材料は古代以来、長く天然有機繊維であった。衣服の本来の機能は、外傷を受けないように身体を保護すること、寒暑のいずれからも身体を保護することである。人類は麻、木綿、羊毛、絹などの天然繊維から糸を作り、さらに糸から布を織って衣服材料とすることを見いだしたが、それら布地は軽く、強く、断熱性に優れ、膚触りが良く、人類はこれらと深く馴染んできた。衣服は人間の身に付けられ人間と一緒に行動を共にするので、上記の本来の機能とは別に人間の動きを妨げず、快適な着用感と膚触り、つまり人間との適合性がもう1つの重要な機能である。この機能に優れた衣服材料は人の感性と交流し、人は生地にも心の安らぎや美すら見いだした。前者の実用性能がある程度満足すれば、人は後者の感性的性能を重視する。事実、布地の品質や価格は主に後者の性能によっている。

前者の実用機能は、ある程度は計測の可能な機能である。力学的強度や熱移動特性が関与し、その測定は材料力学や物理学の応用でよい。しかし後者の、人間と適合し、人間の感性と交流する性能の評価の基準はもはや人間の主観にしかない。この主観判断で人々は

布を評価し、また布の生産者も主観判断を基にして手作業で長年にわたってよいものを作ってきた。そしてこの布地と人との主観的な交流において、人々は布の性格や良さを手触りから感じ取って、布の風合いと呼んだ。

しかし今日では衣服材料である繊維や布地の需要は膨大で、もはや手作りではこれを支えられず、その製造は近代工業で支えられている。産業革命は繊維工業の動力化から始まり今日の自動化、高速化へと進んだ。繊維も高分子化学の進歩で再生繊維のレーヨンに始まり、各種合成繊維の出現をみた。繊維工業においても、こうした技術の進歩は多くの工学分野の協力によって進んだが、1つの問題は、近代技術にたずさわる科学者、技術者が人間の感性を大切にする教育を受けておらず、むしろ非人間的であることがハイテックと考える習慣すら身に付けているらしいことである。高速化技術と自動化技術を導入し、生産効率は向上したが出来上がる製品の真の良さを評価できる教育は受けていなかった。新しい合成繊維についても技術者は強度などの機能をのみ重視して、風合いなどは真剣に考えるどころか、非科学的との見方すらした。1960年頃から量産の始まったポリエステル繊維はその強度など実用性能の高さの故に全ての繊維を駆逐する夢の繊維とみられた。しかし消費者はその風合いの悪さにむしろ拒否反応を示し、“合織”との名称を与えて低級品とした。しかしこの間において、近代技術は従来の天然繊維製品の品質をさらに高めたわけではない。

Objective Evaluation System of Fabric Hand. By *Sueo Kawabata* (Dept. of Polymer Chemistry, Kyoto University).

*京都大学工学部高分子化学教室

事実は逆でこれもまた前述の事情で生産効率は上がったが、それらによる品質の劣化が始まっていた。

人間からみる評価が人間によってなされるのは極く当然のことであり自然である。しかし近代的技術を有効に品質に反映させるには客観的品質評価方法が必要である。最終製品の真の性能の客観的評価法を持たないが故の品質劣化が近代繊維工業の歩んだ道筋であった。繊維工学の分野ではもちろん早い時期から風合いの客観評価についての関心は強く、1930年に Peirce が J. Textile Institute 誌上で布の力学的性質を測定することで風合いの評価の出来る可能性を指摘している。以来多くの研究者によって研究がなされたが、人間の評価に及び得る成果はなく、1970年に至ってもまだ、風合いとは何かという議論を繰り返している水準にあった。筆者らが風合いの研究とその客観評価システムの実現を目指す研究を始めたのはそのやや少し前の頃である。

2. 評価システムの構想

風合いの複雑さは、それが人間の主観評価であることにあるが、さらに、人間が純粋に絵画の美に感動するのと違って着心地の様な感性的実用機能も判断に混在することにある。むしろその機能性能の高いものから美を感じ取る。もう一つは絵画の場合も同様であるが感性は経験によって磨かれる。風合いも多くの生地をみて始めて的確に評価できるという、経験もしくは訓練が必要であることにある。消費者の判断が基本というものの、経験や訓練のない一般消費者の判断は曖昧であり、狭く、かつ不安定である。筆者は羊毛の織布工場、布仕上げ工場の、最も布の風合いと関わる専門熟練者の研究への参加をお願いした。選ばれた十数名の熟練者によって風合い判断の内容についてまず議論し、その判断過程を調査し、図1のようにまとめた^{1)~3)}。

(1)布を手で触る。引っ張り、曲げ、圧縮、せん断の各変形に対しての力、それに表面感触を感じ取るようである。

(2)頭脳でこれら情報を経験と照合し、布の基本的な性格をいくつかの表現に集約する。

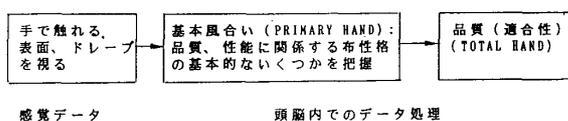


図1 熟練者による布風合い判断の過程分析

(3)段階(2)で得られた情報を再び総合し、良否の判断をする。

この情報処理システムは手の触感以後は全て頭脳内で行なわれ、それも本能的のみでなく経験に基づく高度の処理であり、この処理を模擬するには結局人間の判断結果をみてその統計処理をする以外に方法が無い。考えられた客観評価システムは図2に示す。すなわち、

(1)布の基本力学量を計測する。

(2)変換式Iによって各基本風合いを数値(風合い値, Hand value (H.V.))と呼ぶ)で表現する。

(3)これら風合い値を変換式IIによって総合風合い値(良否のグレード値, Total hand value (T.H.V.))に変換する。

3. 主観的風合いの標準化と数値表現

このシステムの開発の前に解決しなければならない問題がいくつかあった。まずそれまで漠然と捉えられていた主観的基本風合いの定義とその確認、そしてその定量化、数値表現である。熟練者グループと何回もの検討を重ね、男用スーツ地の風合いに目標を絞って基本風合いを表1のように選定した。基本風合いは前述のように優れた風合いに関わる布性格を表現する風合いであって、熟練者はそんなに多くの表現を使わない。表のようにその数は絞られ、且つこの絞られた風合いはその強さ、弱さを量的に表現できるほど基本的なものであることから“基本”の表現を用いた。幸運なことにこの基本風合いは明治の羊毛工業発足以来熟練者の間で代々用いられ伝えられてきた表現であり、標準化にさしたる抵抗がなかった。数百点の試料を集め、熟練者群が各基本風合い毎に図3に示すような強弱の分類をした。分類された試料群から各熟練者の判断の一致度の高いものを取りだし標準試料とし、強いものから順に10, 9, 8, …の数字をつけて標準試料の Hand value (H.V.) とした。この標準をもとに以後の主観判断が実施され、個人間の基本風合いについての認識差を解消させた判断が可能になった。

同様にして、品質風合いである Totan hand value (T.H.V.) の判断を5段階評価で行ない、標準 T.H.V. を設定した。良い悪いの判断はより個人の趣

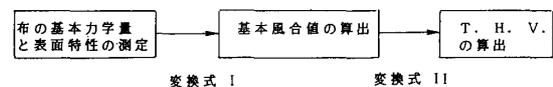


図2 布風合いの客観的評価システム

表1 基本風合いとその定義

風 合 い		定 義
(英 語)		
1. KOSHI	Stiffness	触って得られる可撓性、反撥力、弾性のある充実した感覚。例えば、弾力性のある繊維と糸で構成されている、そして適度に高い糸密度の布の持つ感覚。
2. NUMERI	Smoothness	細くて柔らかい羊毛繊維からもたらされる、触ってのなめらかさ、しなやかさ、柔らかさの混じった手触り感覚。例えばカシミヤ繊維から得られる感覚で、専門語では、毛質の良さからくる柔らかさをいう。(曲げかわらかさ、なめらかな曲げの手触り、すなわち、ころびの良さ、そして曲げの弾力的な性質によって判断される)
3. FUKURAMI	Fullness and softness	かさ高で良くこなれたふくよかな布の手触り感覚。(圧縮に弾力があり、暖か味を伴う厚み感で判断される)
夏用スーツ地		
4. KOSHI	Stiffness	1. KOSHIと同じ
5. SHARI	Crispness	粗くて硬い繊維や強撚の糸から生まれる、しゃりしゃりした手触り感覚。例えばポーラ地に強く現われる感覚(主として、布の表面手触り感覚である。布のすべての種類の剛さがこの感覚を助長する)
6. FUKURAMI	Fullness and softness	3. FUKURAMIと同じ
7. HARI	Anti-drape stiffness	強る性質、弾力性の有無には関係しない。

味に属することで“標準”とはおかしいとの疑問もたれるかもしれないが、人との適合性という点において人々には強い共通基準が存在する。その後、このT.H.V. 調査は世界各国で共通試料を用いて実施されたが評価基準の国際的な共通性が認められた。

これら標準を基にして、選定された214試料のH.V., T.H.V. の主観判断が熟練者グループによってなされ、その平均から主観値データ Y_i ($i=214$) を各基本風合いと総合風合いについて得た。

4. 力学量の選定

入力データとしての布の力学量はなるべく風合いに密接に関係するものが用いられねばならない。しかし

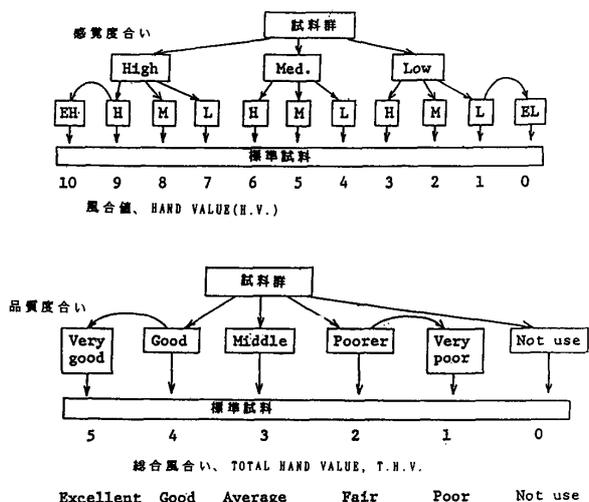


図3 風合いの標準試料の選定と数値化

複雑な変形に対する応答の測定は次の段階で当然行なわれねばならない布設計への応用を困難にする。そこでできるだけ(1)基本的変形に制限する方針を取った。

しかし手で布を判断する場合は自然と風合いの判断に適した変形量や変形荷重範囲をとっている。その範囲はそれまであまり測定したことのない極低荷重範囲で、布の性質上非常に測定の困難な領域である。JISその他の試験基準は一部の曲げ試験を除けばそれまでほとんど強度試験で、これだけをみても風合いの関与する性質がいかに関与されなかったかがわかる。各基本変形に対して(2)風合いと関連する荷重領域をそれまでの布物性の基礎研究を基に選定した。さらに予備研究の結果、手で布をつかみ調べる際に布が受ける変形は多様で、表2のように表面特性摩擦特性も含んで全ての基本変形を受ける。そのどれが重要であるかの選定をすること、また相互の相関から一部を除去、省略することは布の性質の多様性から危険であり、(3)全てを省略なしに測定し布力学量特性データとすることにした。基本的力学量でありながら、強度、信頼性試験以外の市販測定機は無く、新しく測定装置の開発が必要であった。これにも布物性の基礎研究が役にたった。以上のようにして布力学特性値 X_i ($i=1\sim 16$) を冬服214点、夏服154点について測定した。

5. 変換式の開発

力学量を風合い値に変換するのに、風合い値が人間

表2 基本力学量

力学量	説明	単位
Tensile*		
LT	Linearity of load/extension curve	non
WT	Tensile energy	N/m (gf cm/cm ²)
RT	Tensile resilience	%
(EM **)	Extensibility, strain at 500 N/m (gf/cm of tensile load)	none
Bending		
B	Bending rigidity	$\times 10^{-4}$ Nm (gf cm ² /cm)
2HB	Hysteresis of Bending moment	$\times 10^{-2}$ N (gf cm/cm)
Shearing*		
G	Shear stiffness	N/m deg. (gf/cm deg.)
2HG	Hysteresis of shear force at 0.5deg. of shear angle	N/m (gf/cm)
2HG5	Hysteresis of shear force at 5deg. of shear angle	N/m (gf/cm)
Compression		
LC	Linearity of compression/thickness curve	none
WC	Compressional energy	N/m (gf cm/cm ²)
RC	Compressional resilience	%
Surface*		
MIU	Coefficient of friction	none
MMD	Mean deviation of coefficient of friction (frictional roughness)	none
SMD	Geometrical roughness	μ m
Construction		
T	Fabric thickness	mm
W	Fabric weight	$\times 10$ g/m ² (mg/cm ²)

* 経て方向、緯方向の平均をとる。

** E_M は風合い値の計算に使わないが他の用途に多く用いられるので記載した。

の判断であるだけに人間と離れての純客観的方法是現状では不可能である。人(熟練者)の判断の模擬しかない。それにはインプット(力学応答)とアウトプット(主観風合い判断結果)との関係を統計的方法、例えば多重回帰式によって結ぶ以外にない。多重回帰方式を定めるのに多くの方法を試みたが、基本的には統計学的常識よりも熟練者の判断法を重視し優先し、さらに応用での都合を考えた。例えば、3つの基本風合いから T.H.V. を導くのに、基本風合い間には相関がある。統計的には1つの基本風合いを除去することも可能である。しかしあくまでこの3つを同じ重みで取り扱うことを原則とした。その理由は、この3つが相互にたとえある程度高い相関があっても、その3つはそれぞれが独立した意味を持ち、布の性格を捉えるのに必要とされて使われてきたことによる。相関係数が0.9であっても0.1の中に2つの布の決定的相違を示すものが存在する可能性がある。むしろ統計的多数から外れるものに対して客観判断の意義がある場合が多い。また力学量から風合いの値の導出についても、3つの基本風合いには重要度は違っても全ての変形特性が関わっている。1つの基本変形を無視することは前述の場合と同じように危険である。また変数相互間の相関関係が布設計に役立つ場合が多い。回帰方式についての最終的結論は次のようである。

(1)力学量から風合い値への変換：ブロック残差回帰方式を採った^{1),3)}。16力学変数は表2に示した6つの特性ブロックからなる。主観判断値 Y_i を各ブロック毎にブロック内の力学量で別々に線形回帰し、最も回帰精度の高いブロックを選び出す、その回帰値を \hat{Y}_i としてその誤差 $Y_i - \hat{Y}_i$ を残りの各ブロック毎に再び同様に回帰し、回帰精度の最も高いブロックの回帰式を最初の回帰式に加算して新しい回帰式とする。このプロセスを順次繰り返し最後のブロックに至る。このブロック順を保持しつつブロック内での変数について同様に残差回帰を上位ブロックから順に行い、式を完成させる。これは、各ブロックがブロック内のいくつかの力学量によって1つの力学特性を表しているのので、これら変数グループを分離させずにまとめながら、また力学量間の相関の影響を除去しながら全力学量を使う方式である。結果として次のように線形式を得る。

$$Y = C_0 + \sum_{i=1}^{16} C_i x_i \quad (1)$$

$$x_i = (X_i - M_i) / \sigma_i \quad (2)$$

Y : 基本風合い値

x_i : i 番目の力学量, 母集団平均値, 標準偏差で規格化したもの

X_i : i 番目の力学量

M_i : i 番目の力学量の母集団平均値

σ_i : i 番目の力学量の母集団標準偏差

C_0, C_i : 定数係数, 各基本風合いで異なる

(2)基本風合い値から T.H.V. への変換：前述のように各基本風合いは同じように重要であること、それら間に相関はあっても基本風合いの数は冬服で3であり、相互の相関の存在の下で熟練者が判断していることを考慮し単純多重回帰を行った。ただし最適値の存在を考え、各風合い値の2乗値をあらたに変数として加えた。すなわち

$$T.H.V. = C_0 + \sum_{k=1}^3 Z_k \quad (3)$$

ただし C_0 は定数, n は基本風合いの数, 冬服生地では3. Z_k は k 番目の基本風合いの T.H.V. への寄与を表し,

$$Z_k = f(Y_k, Y_k^2) = C_{k1}(Y_k - M_{k1}) / \sigma_{k1} + C_{k2}(Y_k^2 - M_{k2}) / \sigma_{k2} \quad (4)$$

Y_k : k 番目の基本風合い

M_{k1} : Y_k の母集団平均値

σ_{k1} : Y_k の母集団標準偏差

M_{k2} : Y_k^2 の母集団平均値

σ_{k2} : Y_k^2 の母集団標準偏差

C_0, C_{k1}, C_{k2} : 定数係数

以上の多重回帰解析において、回帰式の予測精度は必ずしも回帰精度と並行しない。そこで新たな試料によって熟練者の主観判断を行ない、回帰式の予測精度を点検しつつ試行錯誤によって回帰方式を決定したものであって、必ずしも統計学的にみたときは最適でないかも知れないが、こうした解析は様々な周囲条件をまず考慮するのが実用性を高めることを知った。

6. 客観判断の精度

これらの客観判断式は熟練者の判断ばらつきの範囲内の平均値的判断をする。表3に新しい試料に対しての予測精度を示したが、主観判断の平均値に対して一様に熟練者を上回る判断能力を持つ。またその判断は安定で人間のように判断の時間的変動や、判断への環境の影響などはない。これはしかしながら人間らしさがないことなのであるが、むしろ現在の近代工業とのつなぎ合わせにはこの安定性は好都合である。表4は12名の熟練者の判断による基本風合いの KOSHI (こし) の H.V. で0.5ずつの差のある試料を、熟練者が

表3 予測精度試験での相関係数, 新規の試料66点(男, 秋冬用スーツ地)について実施. いずれも熟練者間の相関係数により0.1程度高い

	KOSHI	NUMERI	FUKURAMI	T.H.V.
予測値と主観判断値*との相関係数	0.930	0.793	0.783	0.753

* 熟練者10名の平均値

表4 7試料の異なる条件下での基本風合いKOSHIの風合い判断. 高いH.V. 値から順に1, 2, 3の順位を付けている

試料	HV	熟練者AとBの評価による順位付け					客観評価による順位
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	
#02	7.1	1	3	1	1	1	1
#06	6.5	2	1	3	4	4	2
#29	6.0	4	4	4	2	2	4
#51	5.4	3	2	1	3	3	3
#60	5.0	6	6	4	5	6	5
#77	4.5	5	5	5	6	5	6
#87	4.0	7	7	7	7	7	7

HV; 10人の熟練者による評価の平均値

A-1, B-1; 7つの試料を注意深く評価して順位づけたもの

A-2, B-2; 同上の操作を1箇月後に再度行った結果

A-3 ; 他の214試料と混じて評価したとき(同順位も混じっている)

判断し, 順位を付けたものである. 同一人が1週間後にもう一度同じ判断したとき, 多くの試料と混じった状態で判断したとき, 判断者Bの判断, などの場合と, 客観判断の結果を示す. 客観判断は時間の経過やその他の条件に影響を受けない. 一方主観判断は個人差, 不安定性, いろいろの揺らぎがある. この人間らしさが人間の進歩をもたらす原動力と思うが, またこの不安定性が, 技術者たちが風合いを捉え所のないものとして技術の対象から外す理由ともなった. 今の段階では安定な客観判断がどうしても必要である. 特に品質の判断のT.H.V. 判断は熟練者の間でも大きくばらつくが, 図4のように客観判断はその平均値に近い値をよく予測する.

7. 終わりに

近代科学は物事を細分化しその原理を追及する. しかし人間の判断過程をみると, いろいろのことを総合的にまとめて判断する総合化である. 基本風合い, 総合風合いのいずれもそうであった. 近代科学の教育を受けたものにはこの総合方式が曖昧で大雑把にみえ, 非科学的と考えがちである. しかし人間は細分化した

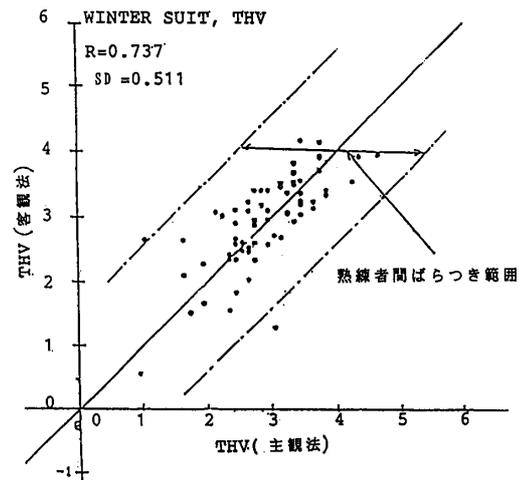


図4 主観判断と客観判断との相関図. 秋冬スーツ地で, 主観値は8人の熟練者の平均判断均値

研究が進んでもそれらから行動するための結論が出ない限り次の行動が出来ない. 多くの曖昧さを抱えたままでも次の行動のために瞬時に1つの総合的判断を下す. これが人間の判断であり風合いの判断であった. この両者の差に筆者は次の世代の研究方向を感じる.

以上の風合いの客観評価システムは細分化方式の延長線にある現代技術に広く応用され成果を生んでいる. 風合いの設計が可能になり, 単期間で品質の高い製品が開発できるようになった. 何が良い品質をもたらすか, 予測や分析が可能になったからである. 基本的な力学量を接点としたことは現代の研究システムへの容易な直結を可能にした. 現在, この風合い評価システムは, KESF システムと呼ばれる力学量測定システムと共に広く世界で応用されている.

参考文献

- 1) 川端季雄, “風合い評価の標準化と解析, 第2版”, 日本繊維機械学会, 大阪, 1980
- 2) S. Kawabata and M. Niwa, Fabric Performance in Clothing and Clothing Manufacture, J. Textile Institute, 80-1, 19/50, 1989
- 3) S. Kawabata, The development of The Objective Measurement of Fabric Handle, in “Objective Specification of Fabric Quality, Mechanical Properties and Performance, Edited by S. Kawabata, R. Postle and M. Niwa, Proc. 1st Japan Australia symposium, 31/49, Textile Machinery Society of Japan, 1982