

人間感覚における粘性物質の尺度構成

Identification of sensory evaluation on viscosity

浅沢 英夫*

Hideo Asazawa

The panel made judgements about the subjective viscosities of sugar water (0~60%) and silicone oils (1000~60000mPa·s). The judgements were made by three procedures : shaking or turning the bottle containing the liquid, stirring the liquid with glass rod with eyes-blindfolded, and stirring with eyes-open.

The scaling of the subjective viscosities were made by large number of magnitude estimation and Scheffe's method.

The results were obtained that sensibility of subjective viscosities became dull with raising of objective viscosities and the sensory evaluation followed the psychophysical nth power law by S.S.Stevens.

1. 緒言

人間が扱うことの多い繊維製品の感性的な研究では、物理的事象とそれに対応する心理的事象との間の数量的関係を明確にすることは非常に重要である。これは人間の感覚が、物理次元上で便宜的に定められた単位とは大きく異なり、人間特有の感覚の鋭敏さを持つためである。

人間は感覚による評定から潜在的に感覚的連続体を形成する。この連続体上に数値を当てはめた場合、これを尺度といい、ある物理量に対する人間感覚の物差しをあてはめた場合に尺度が構成される。すなわち感覚量に目盛りをつけることを尺度構成という。

繊維製品のような人間の感覚が非常に重要視される製品を作るには、その製品が実際にどのような条件下で使用されるかを考え、その条件下での人間感覚的尺度構成を考慮するべきである。

繊維製品を細かく分析して見ると、それらはすべて高分子材料の集合といえる。そこで客観的的物理量として高分子の基本的な性質である粘弾性に着目した。これは繊維製品が人間の生活と深くかかわり合うとき、この粘弾性が人間感覚の主として触覚を司るものだからである¹⁾。それゆえ、粘弾性と人間感覚との関係を考察することが重要である。

本研究では、粘弾性という複合的性質ではなく、最初

にその一部をなす粘性について考察した。これは人間の感覚に時間的要素が関わっていることを探るためでもあり、粘性流動体についての物理的数値に対応する感覚的連続体上の尺度を求めることが粘性体人間の感覚的傾向を探ることにもなる。得られた結果は他の粘弾性物質（例えば繊維高分子材料）に対する人間感覚を類推する手掛かりとなるものである。

2. 実験方法

2-1 実験試料および測定

純水からかなり高粘度の物質まで、粘度で水の6万倍までの広範囲にわたって、粘度という刺激とそれに対する人の感覚による評定についての関係を考察することにした。

表1 実験試料の性能表

Material data for experiments

低粘度用 (low viscosities)

試料名	A	B	C	D	E
蔗糖水溶液の濃度(%)	0	20	40	60	65
粘度 (mPa·s)	1.00	1.97	6.22	56.76	148.63
比重	1.000	1.083	1.179	1.289	1.320

高粘度用 (high viscosities)

試料名	F	G	H	I	J	K
シリコンオイルの粘度 (mPa·s)	1000	3000	6000	10000	30000	60000

* 評価技術部 繊維評価研究室

一般に蔗糖水溶液の粘度は攪拌または振とう速度に依存しないので、視覚または手に感じる抵抗値より粘度を類推する場合にその水溶液が用いられる。したがって低粘度(1~148.63mPa・s)で人間感覚の傾向を見るために、濃度により粘度を簡単に制御できるニュートン流体である蔗糖水溶液を用いた。測定は毛細管型粘度測定装置を用いて、測定温度は20±2℃のもとで行った。また高粘度(1000~60000mPa・s)での感覚測定では、粘度既知のシリコンオイルを用いた。この物質も蔗糖水溶液と同様にニュートン流体であるために、物理的次元では変形速度に影響されることがなく粘度が一定である。表1にそれらの性能を示した。

2-2 官能検査方法

低粘度の蔗糖水溶液を、250mlの円柱形のポリプロピレン製容器中に200mlを入れ、その容器を振とうすることにより、内部の液体の動きから粘度を判断させる方法をとった。

判断結果はScheffeの一对比較法およびマグニチュード推定法によりした。すなわち、一对比較法では、パネラ15人にランダムに2個ずつを提示し、その大小関係を5段階の評点により解答させた。

次に、同じ容器、試料を用いて、充分の期間を置いた後、マグニチュード推定法により1.00(mPa・s)の試料を1としたときに、他の試料はどのような倍数に感じるかを自由に数値で答えさせた。

高粘度のシリコンオイルを用いての官能試験では、マグニチュード推定法のみを行った。ただし、試料を入れるポリプロピレン容器の容積が100mlと250mlの2種類の円柱形容器を用い、変形可能量による感覚の違いも見ることになった。

ポリプロピレン容器を用いたのは、攪拌時にガラス棒と容器とが衝突することにより、破損したり、またその心理的恐怖感を取り除くためである。さらに容器自体を手握り振とうや攪拌しやすい大きさを考え、100mlと250mlの容積を採用した。

また、振とうによる判断だけではなく、250ml容器中に人が握りやすい大きさの直径1cm長さ20cmのガラス棒を入れ、そのガラス棒で容器内部のシリコンオイルを自由に攪拌させ、その状態を目で見ながら感じた数値を答えさせる方法と、攪拌している状態を見ることなしに手に感じる抵抗値だけから数値を推定させた。基準としたのは表1のFの試料である。同様に他の試料G~KがFに対して何倍に感じられるかを、上述の3種類の実験方法で、20人のパネラにより検査を行った。

3. 実験結果および考察

3-1 低粘度検定

3-1-1 低粘度におけるScheffeの一对比較法

表2 5段階評価の調査結果

Result of survey by method of numerical estimation

右に対する左の得点 (x _i)	+2	+1	0	-1	-2
A-B	0	11	3	1	0
A-C	9	5	1	0	0
A-D	11	4	0	0	0
A-E	13	2	0	0	0
B-C	6	7	2	0	0
B-D	7	7	1	0	0
B-E	9	6	0	0	0
C-D	3	9	3	0	0
C-E	5	7	3	0	0
D-E	0	8	7	0	0

表3 主効果、組合せ効果、分散分析表

Analysis of variance

主効果 (Primary effect)

A	B	C	D	E
-1.16	-0.72	0.13	0.72	1.03

組合せ効果 (Match effect)

	A	B	C	D	E
A	---	-0.67	-1.53	-1.73	-1.87
B	0.67	---	-1.27	-1.40	-1.60
C	1.53	1.27	---	-1.00	-1.13
D	1.73	1.40	1.00	---	-0.53
E	1.87	1.60	1.13	0.53	---

分散分析表 (Analysis of variance)

変動因	自由度	平方和	平均平方	有意差
主効果	4	518.13	129.53	367.595*
組合せ効果	6	21.20	3.53	10.027*
誤差	280	98.67	0.35	
総計	300	638.00		

*: 有意水準 0.05 (5%) で有意といえる。

低粘度用の試料A~Eについて、ランダムに2個ずつの試料をパネラに与え、容器を自由に手で振とうさせ、その液面の変化を観察することにより感覚評価を、「かなり粘い」、「少し粘い」、「ほとんど差を感じない」、「すしサラサラしている」、「かなりサラサラである」の5段階に区別させた。それについて+2~-2の5段階評点を用いて表現すると、表2のごとくになった。表2から導き出されたデータを尺度上に置き換えた結果(主効果、組合せ効果、分散分析表)を表3に示す。主効果については有意であることが認められ、組合せ効果についても

同様に有意であった。主効果の値を一次元上に表した尺度上の値を図1に示した。図中の矢印上の数値はそれぞれ試料の粘度 (mPa・s) を表す。

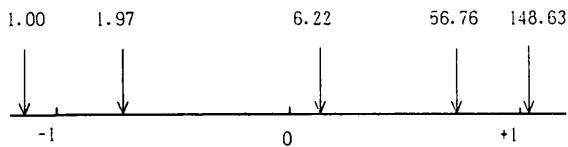


図1 一対比較法によって推定された尺度値

Scaled value estimated by method of paired comparisons

この図1から明らかなように、1.00から6.22 (mPa・s) までの非常に低い粘度付近では鋭敏に選別されるが、6.22から148.63までは次第に粘度に対する感覚があいまいとなる。このことは、最低粘度 (AからB) と最高粘度 (DからE) における平均増加率の違いは150倍近くになっていることから明らかである。

3-1-2 低粘度におけるマグニチュード推定法

同一試料について、水 (1.00mPa・s) を1とした場合、他の試料の粘度との関係を見るため、パネラ15人に自由に数値で答えさせるマグニチュード推定法²⁾を行った。評定値とは刺激値 (この場合、粘度1.00~148.63mPa・s) に対して、評価した数値を表す。同一の刺激を反復して行くと、評定値の分布はかなり歪んでくるのが普通であるので、代表値としては算術平均を用いず、メディア

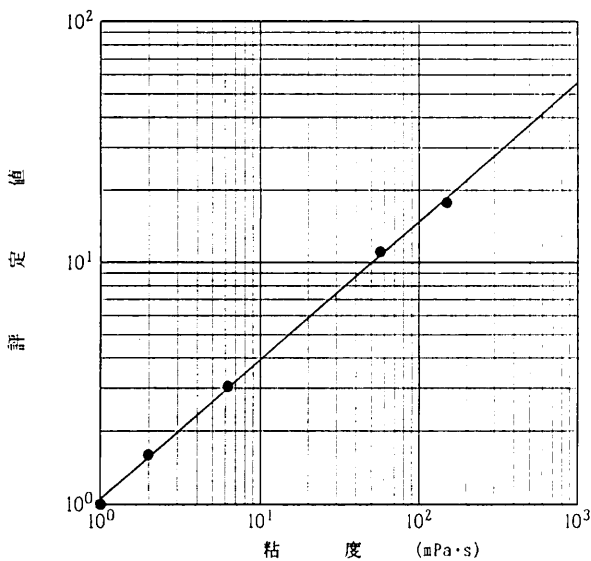


図2 マグニチュード推定法による粘度と感覚的尺度の関係
Relation between viscosities and sensitive scale

表4 関数のあてはめ結果

Applying coefficient by method of least squares

a	0.113	分散分析の判定
b	2.087	有意水準1%で有意

刺激値の対数 (X軸) 評定値の対数 (Y軸)
Y = aX + bの係数

ンまたは幾何平均を一般的に用いる²⁾。ここでは計算により求められる幾何平均値を評定値の代表値とした。横軸に粘度 (mPa・s) を、縦軸にそれぞれの評定値をとり、両対数グラフで示したものが図2である。刺激値と評定値の幾何平均の対数値について関数式のあてはめを最小2乗法により行い、粘度の刺激値の対数に対して評定値 (感覚量) の対数は表4に示したように一次関数的に増加することがわかった。この結果、人間の感覚はほぼ対数的尺度を持つという従来の説²⁾がこの実験でも確かめられた。

評定値と刺激値の関係を実験的に求めると (1) 式のごとくなる。これは感覚と物理的数値である粘度を結び付ける関係式である。

$$\phi = 1.049S^{0.573} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 ϕ は評定値 (感覚値)、Sは刺激値

(粘度 (mPa・s) で表される無次元の数値) を表す。

これはスティーブンスのべき法則⁴⁾ (psychophysical nth power law) と一致するものであり、人間感覚の音の高さと振動数の関係⁵⁾や人間感覚の物の重さと物理的質量の関係⁶⁾と同様な関係であることがわかった。

すなわち、ポリプロピレン容器中に試料を入れ、振とうした時の粘度 (1.00~148.63mPa・s) に対する感覚的な評定は、粘度の小さいところでは刺激の差に対する評定は鋭敏であり、粘度が大きくなるに従って、その評定は鈍くなる傾向が見られた。

これらの各刺激に対する評定値が、正規分布であると仮定し (例えばパネラが100人以上のように充分の実験回数があるとすると)、それぞれの粘度に対する評定値の分布が重なるところで境界となる評定値 (すなわち刺激の境界値) を求めてみると、表5のようなマハラノビスの距離が求められる。

表5 刺激に対する反応の境界値 (マハラノビスの距離)
Boundary values of response

粘 度 (mPa・s)	1.97	6.22	56.76	148.63
評定値の幾何平均	1.60	3.05	11.12	17.81
マハラノビスの距離		2.51	4.44	16.73

このマハラノビスの距離を境界値として、ある刺激に対する評定値が求めれば、それに対応する刺激の基となる試料の物性を一応推定することができる。すなわち、この例ならば、評定値が2.51より小さければ1.97 (mPa・s) の試料、それより大きければ6.22 (mPa・s) の試料と判別できる。

3-2 高粘度におけるマグニチュード推定法

高粘度の試料F~Kを用い、次の3つの条件下で刺激に対する評定を行った。すなわち、①試料の入った容器

を手で振とうさせ、流動変形を観察した場合、②ガラス棒を試料中で攪拌しながら、その試料の流動変形を観察した場合、③ガラス棒で攪拌をするが試料の流動変形を全く見ないで、手に感じる抵抗値だけで評定する場合の3つの場合について、マグニチュード推定法でFの試料を1としたときに、他の試料は何倍に感じるかを答えさせた。なお、流動変形量による違いを見るために、250mlの容器とは別に100mlの容器にその体積の80%まで試料を入れ、振とうによる評定を行った。

3-2-1 流動変形量による高粘度の評定値の比較

100mlと250mlの容器（直径は4.6cmと6.0cm）にそれぞれ80mlと200mlの試料を入れた場合、容器上部の余剰空間の体積はほぼ同じである。しかし、液面の平面的広がり100ml容器の方が小さくなっている。

振とうにより容器内部の液面が流動する様子を観察しながら、マグニチュード推定法を行った。表1に示した同じ粘度の試料F~Kを入れた容器を大小2つで比較した場合の感じ方の違いを図3に示した。ハネラは20人で、低粘度の場合と同様に評定値は幾何平均値をとった。この結果から、同じ粘度の試料でも変形量の小さい方（100ml）は大きい方（250ml）に比べ、約2.8倍から約1.8倍と、評定値が大きくなることわかる。また粘度が高くなるに従って、大と小容器の違いは次第に小さくなる傾向である。これは単位時間当たりの変形量（変形速度）が小さくなるために、大小2つの容器について主観的に粘りが異なるとする感覚は鈍るためであると考えられる。

図4は容器の違いによる実際の評定値を示した。図3の結果からも類推できるが、流動変形量が小さいとき、同じ粘度の試料でもその評定値は高くなっている。このことから、試料の主観的粘度を視覚により比較するとき、感覚的な変形量で粘度を推定判断していることがわかる。

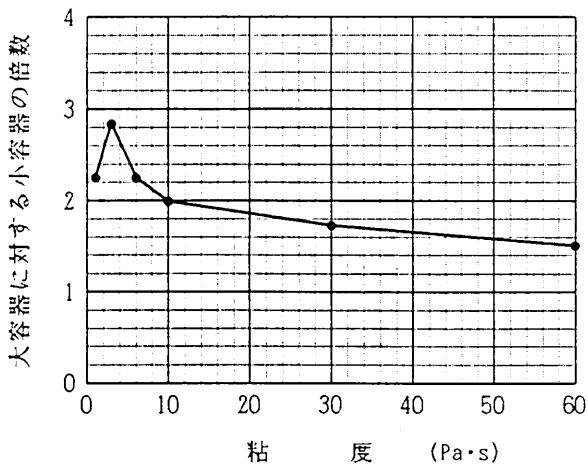


図3 容器の違いによる粘度の評定値 (大容器を1としたとき)

Rating values of viscosities on difference bottles

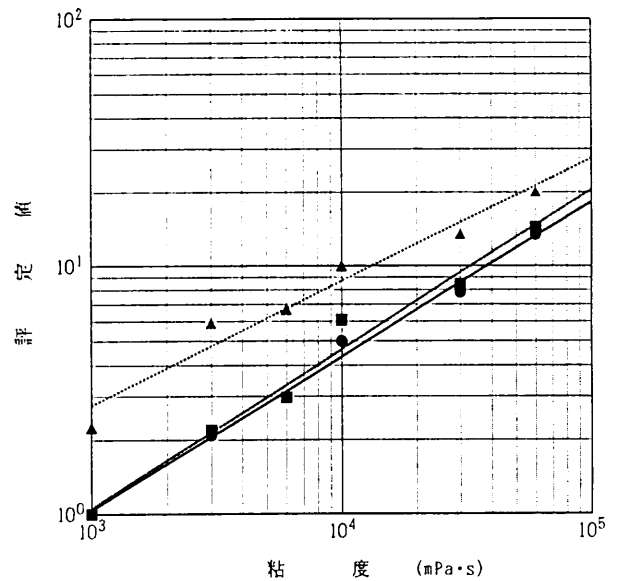


図4 高粘度試料における容器の違いによる評定値
●—●— 大容器, ■—■— 小容器, ---▲--- 大に対する小の倍率を考慮した時の小容器での評定値

Rating values of high viscosities

3-2-2 攪拌方法による高粘度の評定

攪拌方法の違いによる評定値の違いについて考察するため高粘度試料F~Kを上述の250mlの容器に200ml入れ、ガラス棒で自由に攪拌させる。そのとき試料の内部を観察しながら、または全く見ないで手に感じる抵抗値だけで上述と同様に試料F（1000mPa·s）を1としたときの、他の試料の評定値をマグニチュード推定法により答えさせた。その結果を図5に示す。

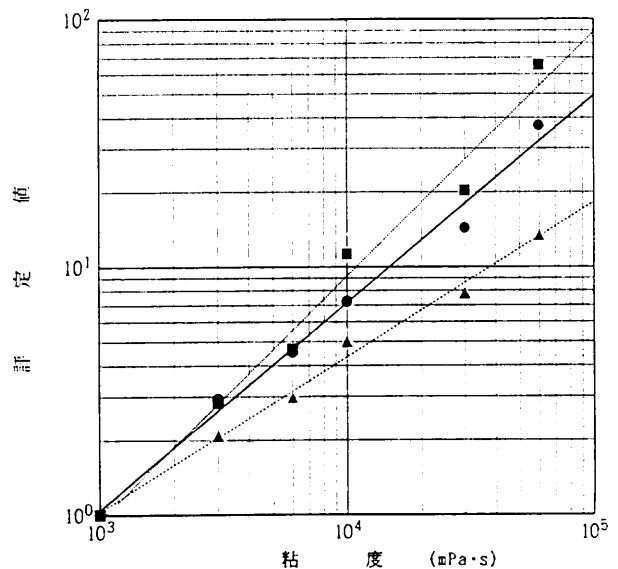


図5 攪拌しながら、容器内部を見てあるいは見ないで判断したときの評定値

●—●— 見ながら攪拌, ■—■— 見ないで攪拌, ---▲--- 振騰
Rating values shaking or turning the bottle containing the liquid, stringing the liquid with eyes-blindfolded and stringing with eyes-open

この図から容器内部を見ないで攪拌したとき、すなわち手に感じる抵抗値だけで判断するときは、容器内部を見たときよりも大きく評定していることがわかる。この実験に用いた試料では容器内部を見ることにより得られる感覚が、手に感じられる実際の抵抗値を小さく減じる効果があるように思われる。そこで、表1に示した低粘度の試料を使い、同様の実験を試みたが、有意の結果が得られなかった。すなわち、ある程度以上の粘度でなければ、手に感じる抵抗を感覚器官にて判別することが困難であることがわかった。

また、振とうの結果(①)と比較すると、2種類の攪拌方法(②と③)の方がその評定値は高くなっており、特に容器内部の変形流動を観察する(①と②)場合、攪拌の方(②)がただ単に観察する(①)よりも高くなっている。これは、刺激として視覚以外に、手に感じる抵抗値が評定値を大きくしていると考えられる。

これらのことから、粘度に関しては、特にこの実験に使用した粘性率の範囲内では、視覚的な刺激の他に手に感じる抵抗値も感覚的な評定には重要であることがわかった。

3-2-3 刺激と評定の近似式

高粘度の試料に関して、それぞれの実験方法についてのマグニチュード推定法の結果から、刺激値と評定値の幾何平均の対数値について関数式のあてはめを最小2乗法により行くと、表6のようになる。近似式は刺激値の対数(X軸)、評定値の対数(Y軸)から $Y=aX+b$ とする。すべて、1%の有意水準で有意といえる。低粘度の試料と同様に、刺激値の対数は評定値の対数と一次関数的な関係にあることがわかる。

表6 高粘度試料における関数式あてはめ
Applying coefficient by method of least squares

係 数	a	b
容器(100ml)振騰	0.643	-1.907
容器(250ml)振騰	0.626	-1.854
容器内部を観察しながら攪拌	0.836	-2.491
容器内部を観察しないで攪拌	0.985	-2.977

分散分析の結果：有意水準1%で有意

さらに、この関数式のあてはめから刺激値と評定値との直接の関係式を求めると、(2)、(3)、(4)、(5)式のようになる。

容器(100ml)で振とうする場合
 $\phi = 0.012S^{0.643}$ (2)

容器(250ml)で振とうする場合
 $\phi = 0.014S^{0.626}$ (3)

容器内部を観察しながら攪拌する場合
 $\phi = 0.003S^{0.836}$ (4)

容器内部を観察しないで攪拌する場合
 $\phi = 0.001S^{0.985}$ (5)

(2)から(5)において ϕ は感覚値(試料Aを1としたときの他の試料についての倍数の評定値)、Sは刺激値(物理学的な尺度の粘度(mPa·s)の無次元数値)を表す。

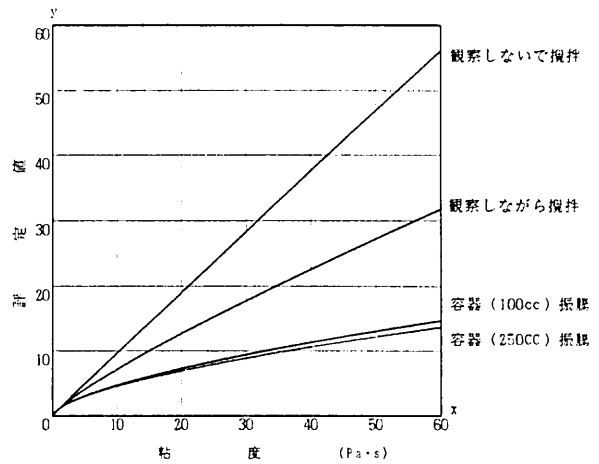


図6 各種実験方法による粘度と評定値の関係

Relation between viscosities and rating values on different procedures

これらの関係式を図6に示した。同図から容器内部を観察することなしに攪拌したとき、粘度と評定値の関係はほとんど一次関数的に増加し、この粘度の範囲内では感覚が鈍るということは見られない。しかしながら、容器内部を観察しながら攪拌すると、その評定値は観察しない場合の約50%近くになり、感覚の鈍化が顕著にみられる。さらに、振とうだけの評定では、観察しながら攪拌した場合の約50%となる。このように、視覚は攪拌における評定値を減じるように働くことがわかる。

容器内部の粘性物質を観察しながら攪拌し判断する場合、時間とともに変わる変形量を視覚を通して刺激としているために、視覚からの刺激がない場合(手に感じる抵抗値のみ)と比較して、その変形量を考慮するために同じ粘度の刺激値に対する評定値を減ずるように、視覚の刺激が働くものと考えられる。

このように、評定する場合の環境条件により、同一刺激でもその評定の傾向は大きく異なり、それぞれの尺度が構成されることが判明した。

4. 結 論

(1) 低粘度(1~148.63mPa·s)の粘性物質の人間感覚による評定では、2つの試料を比較させる一対比較法では、粘度が小さい方では、鋭敏に判別できるが、粘度

が大きくなると、判断は鈍くなる傾向が見られた。基準試料に対する比較試料の倍数を数値で答えさせるマグニチュード推定法では、粘度が高くなるとそれに対する感覚が鈍くなるという一対比較法の結果と同様な結果が得られた。

そのときの刺激値 S と評定値 ϕ との関係は次式で示すことができた。

$$\phi = 1.049S^{0.575}$$

(2) 高精度の粘性物質においては、評定における条件を種々に変えて、マグニチュード推定法のみで評定を行った。人間感覚による粘性物質の評定結果は、判断する場合の条件により左右されることがわかった。すなわち、容器を振とうさせ内部の試料の変形のみを観察する場合が、同じ刺激において最も低く評定され、次にガラス棒で試料を攪拌しながら内部を観察した場合、内部を観察することなしに攪拌した場合の順に大きな値を示した。また、すべての場合において、粘度が高くなるほど感覚が鈍くなる傾向であり、そのときの刺激値と評定値との関係式も求められた。

容器内部を観察しないで、手に感じる抵抗値だけで評定する場合が最も物理的な粘度の尺度に近く、評定値と刺激値の関係は、1000~60000 (mPa·s) 範囲内では一次関数に近い形となった。

(3) 物理的な尺度に最も近い実験方法が人間感覚的に正しいということではなく、各種環境条件下で評定を行っ

た場合、それぞれの異なった尺度が構成されることが判明した。

謝 辞

この研究報告は、大阪府職員研修所による平成2年度大学派遣研修事業により、大阪大学工学部産業機械工学科中村喜代次研究室において研修した結果の一部である。ここに研修先の中村先生に深く感謝申し上げると共に、研究にご協力いただいた千葉訓司助教授ならびに大学院生、4年生の方々に感謝いたします。また、本研究をまとめるにあたってご協力いただいた職員研修所、および繊維評価研究室の方々に感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 例えば、野口博司、熨斗秀夫：繊維製品消費科学会誌、14(5)、168 (1973)
- 2) 例えば、田中良久：心理学的測定法 第2版 東京大学出版会 134 (1977)
- 3) Stevens, S.S. : On the psychophysical law., Psychol. Rev., 64, 153-181 (1957)
- 4) J. P. ギルホード、秋重義治訳：精神測定法 (培風館) 250 (1959)
- 5) J. P. ギルホード、秋重義治訳：精神測定法 (培風館) 260 (1959)