

3DCGで作成された繊維別布画像の視感比較評価－予備実験結果

Visual Comparative Evaluation of Images of Cloths of Different Fibers

－ Preliminary Experimental Results

坂上ちえ子

SAKAGAMI Chieko

Abstract

The purpose of this study was to confirm the validity of experimental results of a visual comparative evaluation of images of cloths created using 3DCG software versus actual cloths. The study also serves to report preliminary experimental results. Experimental results suggested the following:

1. This experiment was carried out on a different date and with different subjects from the preliminary experiment. Significant differences between the two experiments in terms of mean values and variance values were not observed, confirming the validity of the experimental procedure.

2. Evaluation results of control images revealed necessary modifications for the two images (i.e. plane image and photographic image). Specifically, the plane image had glare in the form of a white point that needed to be removed, and the photographic image needed to have the brightness of its black background lowered.

Keywords: *visual comparative evaluation, 3DCG image, plane image, photographic image*

1. 目的

布に限らず、物体表面の三次元構造をコンピュータで再現するには、その物体特有の反射の特性を反映させなければならない。3DCG (Three-Dimensional Computer Graphics) による布画像作成の代表的な方法としてBRDF (Bidirectional Reflectance Distribution Function) が挙げられ、光の反射モデルの一つである。Westinら¹⁾は、物体表面の光散乱をシミュレートすることによって、BRDFsを近似するための物理現象に基づくモンテカルロ法を提示した。その手法によって、従来の反射モデルでは困難であったMicrogeometry (Geometryより小さな範囲) の表現が可能になるとした。Ashikhminら²⁾は、Westinらと同様、微小面の反射を注視し、そのメカニズムをもとに反射の異方性が表現されたBRDFを生成して、布のCG画像作成を試みた。武田ら³⁾は、光沢のあるシルクライク織物を対象とし、繊維の断面形状と織り構造の違いにより、光沢感に相違が現れることに着眼した。膨大なデータを必要とするBRDFであるが、入射方向を固定した少数の多視点画像から反射光を解析し、それに基づく効率的かつ織物の異方性反射の特性を表すBRDF生成の自動化を提案した。Marscher⁴⁾は、毛髪のリアルなCG画像表現の手法を確立した研

究者として知られている。BRDFを取得するための測定装置の開発から始めて、毛髪のレンダリングを正確に行うために、毛髪のようなボリュームのある媒体の光の挙動解析に適用される RTE (Radiative Transport Equation) に近似した物理式によって具体的に記述することを試みた。毛髪に適したRET近似式を導出するため、Micro-flakeという物体の裏表両面で鏡面反射するごく小さな面を想定して反射のモデル化に取り入れた。その研究を拡張、編まれた羊毛(ニット)の動きを物理的にシミュレートする試みも始めた。毛糸の編み込み具合をいくつかのパターンに分類し、それぞれに合った物理シミュレーションのアルゴリズムを実行することで、布のリアルな動きを表現した。

布の3DCG画像作成に関するこれらの先行研究においては、最低でも数万か所は測定しなければならないBRDFの取得方法やプログラミング、画像作成のプロシージャが研究の主目的となり、作成した3DCG画像は提示されるのみであった。つまり、その画像のルミナンスファクターの実測や視感評価が行われた研究はなく、画像の実際の光学的物理値は不明であり、布特有の質感が表現されているかを明らかにした研究も見当たらなかった。

本研究では、前報⁵⁾で捉えた布の微小面の反射特性を反映させて作成した画像と実物の試料布とを同時に視感比較し、布の3DCG画像が本物を感じさせるような材質感をどの程度表現できているかを評価した。また、本報告の実験は予備実験と位置付けたため、刺激とした画像や評価実験の方法、手続きについての不具合など、本実験に必要な修正を見出す検討も行った。

2. 方法

2.1. 評価刺激と設置状況

測定室は暗室を使用した。刺激と機器、評価者の位置と設置状況はFig1に示す通りである。実験は、実物の試料布とそれらのルミナンスファクターを反映させて作成した布の3DCG画像を

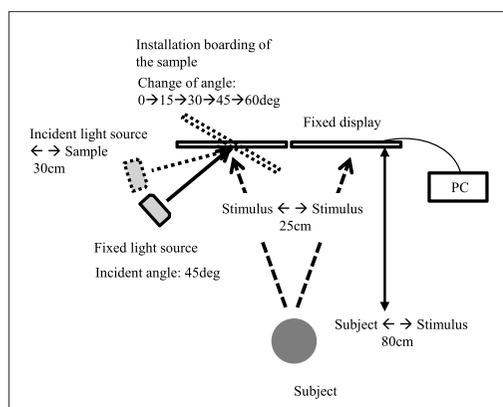


Fig.1 Schematic diagram.

視感比較し、評価を行った。また、作成した布の3DCG画像の対照刺激として、織組織が表現されていない表面が平らな画像と実物試料布を撮影した写真画像を準備した。

視感比較評価に選定した試料布は、シルケット加工した綿100%の平織(以下、S1)、シルケット加工した綿100%の綾織(S2)、シルケット未加工の綿100%の朱子織(S3)、絹100%の平織(S4)、毛100%の平織(S5)、麻100%の平織(S6)、レーヨン100%の平織(S7)、ナイロン100%の平織(S8)、ポ

リエステル100%の薄地平織(S9)、ポリエステル100%の厚地平織(S10)の10種類であり、諸元は前報に示した。いずれも観察方向はたて方向とした

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価—予備実験結果

上記 10 種類の試料布の画像作成には、3DCGソフトウェアのShade 3D ver.14（購入時：イーフロニア）を用いた。使用機器のディスプレイはLCD-AD195VB-HS3（I.O DATA）であり、パソコン（TOSHIBA dynabook satellite B353/25JB）とはDVIケーブルで繋いだ。

布の3DCG画像作成の基本組織は平織（S1, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10）と綾織（S2）、朱子織（S3）であり、それぞれの基本画像は、上記の3DCGのソフトウェアでモデリングした。Table1 に示した材質感を設定する項目 [光源] と [環境光], [拡散] のパラメータ値を平織と綾織、朱子織の基本画像に設定した。色相は無彩色のみとし、環境光の入射角度は左方向 45 度とした。画像の変化角度は 0 度、15 度、30 度、45 度、60 度の 5 種類とした。レンダリングの解像

Table 1 Configuration parameter.

image angle (deg)	configuration parameter			image angle (deg)	configuration parameter		
	光源	環境光	拡散		光源	環境光	拡散
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp				S6 : Linen/Plain/Warp			
0	0.8	0.2	1.0	0	0.8	0.2	1.0
15	0.8	0.2	1.0	15	0.8	0.2	1.0
30	1.0	0.2	0.8	30	1.0	0.2	0.8
45	0.8	0.2	1.0	45	0.8	0.2	1.0
60	0.8	0.2	1.0	60	0.8	0.2	1.0
S2 : Cotton/Twill/Silket/Warp				S7 : Rayon/Plain/Warp			
0	0.8	0.2	1.2	0	0.8	0.2	1.0
15	0.8	0.2	1.2	15	0.8	0.2	1.0
30	0.8	0.2	1.2	30	1.0	0.2	0.8
45	0.8	0.2	1.2	45	0.8	0.2	1.0
60	0.8	0.2	1.2	60	0.8	0.2	1.0
S3 : Cotton/Satin/Warp				S8 : Nylon/Plain/Warp			
0	1.2	0.0	0.8	0	1.0	0.0	0.8
15	1.2	0.0	0.8	15	0.8	0.0	0.8
30	1.2	0.0	0.8	30	0.8	0.2	0.8
45	1.2	0.0	0.8	45	0.8	0.2	0.8
60	1.2	0.0	0.8	60	0.8	0.2	1.0
S4 : Silk/Plain/Warp				S9 : Polyester/Plain/Thin/Warp			
0	0.8	0.2	1.0	0	1.0	0.0	0.8
15	0.8	0.2	1.0	15	0.8	0.0	1.0
30	1.0	0.2	0.8	30	0.8	0.0	0.8
45	0.8	0.2	1.0	45	0.8	0.2	0.8
60	0.8	0.2	1.0	60	0.8	0.2	1.0
S5 : Wool/Plain/Warp				S10 : Polyester/Plain/Thick/Warp			
0	1.0	0.2	0.8	0	0.8	0.0	1.2
15	0.8	0.2	0.8	15	0.8	0.2	1.0
30	0.8	0.2	0.8	30	0.8	0.2	0.8
45	0.8	0.2	0.8	45	0.8	0.2	0.8
60	0.8	0.2	0.8	60	0.8	0.2	0.8

度は、「幅」を 160pixels, 「高さ」を 120pixels, 「ピクセル縦横比」を 1.00, 「解像度」を 72.00DPI とした。レンダリングした布の画像はディスプレイの中央に表示させ、縦 5.0cm, 横 5.0cm の画像以外は黒の吸光シートで覆い、ディスプレイ自体からの透過光や雑光は遮断した。

布の3DCG画像との比較対照画像として平面画像と写真画像を選定した。平面画像は布の3DCG画像を作成したソフトウェアと同じShade 3D ver.14 で作成したが、表面に織組織による凸凹がない平面とした。写真画像はデジタルカメラ（SONY Cyber-Shot DSC-WX200, カメラ有効画素：約 1820 万画素）を使用して、試料布を等倍率で撮影した写真を用いた。また、ディスプレイに映し出された布の3DCG画像と各比較対照画像

のルミノサンスファクターは実物試料布とほぼ同値になるよう整えた。とくに写真画像は予備測定を行い、目視するディスプレイ上の写真画像が実物に近くなるよう解像度を調整した。予備測定から、織組織が認識でき比較対照の写真刺激として適すると判断した試料布はS1, S4, S7 であった。対照画像の一部をFig.2-1 と 2-2 に示す。

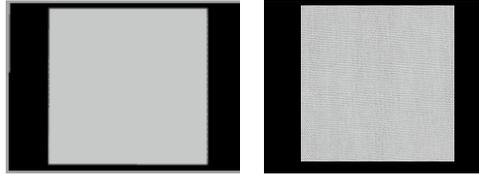


Fig.2-1 Plane image: 0deg. Fig.2-2 Photo image: 0deg.

光源は実物試料布用の照明とディスプレイのみであり、余分な雑光線を防ぐため、画像や試料布の周りは吸光シートを用いて覆い、機器の周りも黒の布で覆った。刺激とした実物試料布も画像も大きさは、縦 5.0cm、横 5.0cm とし、刺激設置の高さは評価者の目線に揃え、試料布と画像を同時に視感評価できるようにした。

2.2. 視感比較の評価方法

評価する項目は、予備測定により精査し、「布らしさ」と「明るさ」、「柔らかさ」、「つや」の 4 項目とした。まず、実物布試料と布の 3DCG 画像を同時に視感し、実物試料布を 100% として、4 つの項目において布の 3DCG 画像がどの程度であるかをパーセンテージで尺度評価をさせた。全く異なる画像であると判断した場合は 0%、どちらでもないと判断した場合は 50% とするなど、判断の基準と尺度の数値をおおよそ提示した。S1 から S10 まで 10 種類の布の 3DCG 画像の評価測定が終了した後、対照画像を測定した。平面画像は S1, S4, S7 の順に行い、その後、写真画像も S1, S4, S7 の順に行った。評価項目も手続きも布の 3DCG 画像と同様とし、いずれも実物の試料布との視感比較測定を行った。

評価者から 80cm 離して評価刺激を置いた。実物布試料には左方向 45 度から照明を当て、回転台に固定した。試料を固定したまま回転台を 0 度（法線方向、実物試料の正面）、15 度、30 度、45 度、60 度と回転させた。それぞれの回転角度ごとに、ディスプレイにも同じ角度の刺激画像を表出させて、実物試料布と刺激画像を同時に比較できるようにして評価を行った。被験者は視点を固定して評価し、評価時間や休憩時間なども適切に設定した。

測定時期は、2014 年 11 月から 12 月であった。評価者は本短大に在籍する女子学生（18 歳～20 歳）で視覚などに大きな問題はなかった。また、布に関する科目を受講した者もいたため、予断を与えないよう実物布試料については繊維名などを示さなかった。評価者数は 10 名であったが、回答に欠損がみられた評価者がいたため、布の 3DCG 画像の評価者は 9 名として分析した。さらに、布画像の不備回答者とは別に、対照画像にも回答に欠損がある評価者がいたため、対照画像では、評価者を 8 名として集計と分析を行った。

2.3. 解析方法

まず、実測した布の反射特性を反映させて作成した布の 3DCG 画像と実物試料布との視感比較評価について、評価項目と観察角度ごとに評価の平均値を集計した。本報告は予備実験と位

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価—予備実験結果

置付けているため、別途報告を行う本実験と本報告の評価値について、それぞれの分散をF検定により分析した。この分析結果から、等分散を仮定した場合と不等分散を仮定した場合について、予備実験とした本報告の評価平均値と本実験の評価平均値をt検定により解析した。

次に、S1（シルケット加工・綿・平織）とS4（絹・平織）、S7（レーヨン・平織）では対照画像を作成したため、それらの結果のみを集計した。作成した布の3DCG画像と対照画像の結果について評価値の分散に差が現れ、分散分析が行えなかったため、ノンパラメトリック検定のうちフリードマン検定によって布の3DCG画像と対照画像の評価値の相違を解析した。

3. 結果・考察

3.1. 作成した布の3DCG画像の評価平均値

作成した布の3DCG画像の評価結果はTable2の通りである。左列より順に、評価項目、0degから15degごとに5種類の観察角度における評価平均値とその標準偏差、さらに、5つの観察角度での評価の平均値を10種類の試料布と4種類の評価項目ごとに集計し示した。

評価項目の「布らしさ」では、布の3DCG画像が実物の試料布の材質感や現実感を忠実に表現し、本物の布のように感じられるかを評価して尺度値(上限:100%)で示した結果である。評価項目「明るさ」と「柔らかさ」、「つや」は画像と試料布の表面の類似度を尺度評価した結果である。

5種類の観察角度での評価値を平均し比較した結果では、4つの評価項目すべてで評価が70%以上となったのは、S1（綿・シルケット加工・平織）とS4（絹・平織）、S5（毛・平織）、S6（麻・平織）、S7（レーヨン・平織）、S8（ナイロン・平織）の6画像であった。とくに、評価項目「布らしさ」に注目すると、S1とS7で約73%、S4とS5で約76%、S8で約75%、S6で約77%と高い評価を得た。S9（ポリエステル・平織・薄地）のみ「布らしさ」の評価が約66%と低かったが、S2（綿・シルケット加工・綾織）とS3（綿・朱子織）、S10（ポリエステル・平織・厚地）では約70%の評価を得たことから、布の微小面の反射の特性を反映させて作成した布の3DCG画像の布らしさの表現は適切であったことが示唆された。他の3評価項目についても、S9の「柔らかさ」で約67%、「つや」で約66%、S10の「つや」で約68%の値となり、5観察角度の評価値平均が70%以上とならなかったほかは、3DCG画像と実物試料布の表面に類似性があると評価されたことが確認された。

各試料について観察角度ごとの結果では、いずれの試料も4つの評価項目すべてで、観察角度が大きくなるほど評価値も高くなった。S1の「布らしさ」では、0degで約68%、15degで約71%、30degで約74%、45degで約76%、60degで約77%の値を示し、直線的に評価値が変化した。これは、10種類の試料布と4種類の評価項目に共通する結果であった。ただし、0degと60degの差が大きい結果と差が小さい結果があった。前者は、評価項目「明るさ」の結果であり、S8での差が約18%、S3とS4で約16%など、10%以上の差が現れた試料が8あった。後者は、評価項目「布らしさ」と「つや」の結果であり、6%から12%の差の範囲であった。

また、各試料の観察角度ごとの結果について標準偏差を観察すると、10を超える結果はなかつ

Table 2 Results of visual comparative evaluation: 3DCG image.

(n=9)

evaluation item	evaluation value (%)										Mean of 5 angles
	0deg		15deg		30deg		45deg		60deg		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp											
布らしさ	68.33	8.66	70.56	5.27	74.44	5.27	76.11	7.82	77.22	7.69	73.33
明るさ	69.44	5.83	72.56	6.80	77.78	8.33	77.44	8.06	78.89	7.41	75.22
柔らかさ	68.33	7.07	70.00	7.50	74.44	5.27	75.89	8.12	78.67	7.40	73.47
つや	67.22	7.55	70.56	6.35	73.33	8.66	73.44	8.03	77.67	7.09	72.44
S2 : Cotton/Twill/Silket/Warp											
布らしさ	65.89	6.86	69.22	6.83	70.56	7.68	72.56	5.36	73.33	6.61	70.31
明るさ	65.56	4.64	69.56	3.78	73.56	6.80	73.00	7.89	76.67	7.50	71.67
柔らかさ	65.00	7.07	65.89	6.09	71.33	5.74	71.44	6.71	73.22	7.81	69.38
つや	66.67	6.61	68.67	6.50	71.44	7.58	71.44	7.16	72.78	6.67	70.20
S3 : Cotton/Satin/Warp											
布らしさ	65.78	4.18	67.22	3.63	68.56	3.71	72.67	5.50	75.67	6.93	69.98
明るさ	64.11	4.70	68.00	4.97	73.11	6.09	75.33	5.68	80.33	5.34	72.18
柔らかさ	67.44	7.91	67.56	4.33	68.56	4.13	75.00	4.33	78.67	5.68	71.44
つや	64.67	4.97	67.22	6.18	69.44	3.91	74.00	4.92	75.00	7.07	70.07
S4 : Silk/Plain/Warp											
布らしさ	71.11	7.41	73.33	6.61	77.00	8.05	77.33	7.02	81.11	6.97	75.98
明るさ	67.11	5.13	70.33	4.00	75.00	4.33	78.33	4.33	82.78	4.41	74.71
柔らかさ	67.78	7.12	72.33	7.02	74.78	6.65	73.89	8.94	78.89	8.21	73.53
つや	66.11	6.01	70.89	4.96	75.56	6.80	76.56	9.32	78.44	7.38	73.51
S5 : Wool/Plain/Warp											
布らしさ	71.44	7.99	73.56	7.07	76.11	4.17	78.11	6.09	80.67	6.91	75.98
明るさ	67.78	5.07	70.89	6.58	73.89	6.51	76.67	5.00	77.22	5.74	73.29
柔らかさ	65.78	6.80	71.11	6.51	72.22	5.07	74.22	7.10	74.78	7.36	71.62
つや	67.00	7.05	68.67	7.40	71.11	6.01	73.89	8.58	75.33	7.57	71.20
S6 : Linen/Plain/Warp											
布らしさ	73.33	7.50	75.33	6.60	77.78	5.07	79.56	5.25	79.11	6.68	77.02
明るさ	67.44	6.09	72.56	7.07	76.67	7.07	78.56	7.42	81.78	5.67	75.40
柔らかさ	67.56	6.62	72.67	5.20	75.67	6.06	77.11	7.91	77.22	8.51	74.04
つや	67.44	7.42	72.56	8.29	75.33	7.14	76.22	6.50	77.00	9.54	73.71
S7 : Rayon/Plain/Warp											
布らしさ	68.11	6.77	70.22	6.55	74.44	7.68	75.44	6.41	77.89	5.25	73.22
明るさ	66.00	5.94	68.22	4.29	72.22	5.65	76.00	4.21	79.56	4.80	72.40
柔らかさ	66.44	8.06	69.00	7.09	70.67	6.44	71.33	6.00	73.44	6.86	70.18
つや	65.67	6.54	68.78	7.64	71.56	8.90	72.44	5.98	73.56	7.13	70.40
S8 : Nylon/Plain/Warp											
布らしさ	70.67	8.31	74.11	9.60	74.67	6.50	78.22	6.91	78.33	4.33	75.20
明るさ	63.56	4.48	66.78	5.83	71.33	4.15	76.56	4.93	81.11	5.46	71.87
柔らかさ	67.00	7.23	68.00	5.89	74.44	5.83	77.33	5.72	78.67	8.43	73.09
つや	65.11	6.05	67.56	5.22	71.89	4.37	73.89	5.46	74.22	7.28	70.53
S9 : Polyester/Plain/Thin/Warp											
布らしさ	62.67	4.21	65.11	4.48	65.33	5.05	68.11	5.56	70.44	6.39	66.33
明るさ	68.67	5.79	71.22	4.97	71.67	3.54	73.56	4.88	80.11	4.91	73.04
柔らかさ	63.33	4.33	64.11	4.57	67.00	6.10	69.67	5.22	69.11	5.04	66.64
つや	61.11	3.33	64.67	5.79	64.44	6.35	67.33	7.45	70.56	6.52	65.62
S10 : Polyester/Plain/Thick/Warp											
布らしさ	65.44	6.97	67.67	8.89	71.22	9.07	73.56	7.89	73.89	6.97	70.36
明るさ	64.67	4.00	67.67	2.55	69.89	2.85	74.22	4.02	75.56	4.64	70.40
柔らかさ	64.44	4.64	68.67	4.85	70.56	5.00	72.78	4.41	74.22	6.98	70.13
つや	64.22	5.40	66.78	4.58	68.67	4.85	69.11	5.56	69.89	5.30	67.73

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価—予備実験結果

Table 3 Results of the F-test: test of variance.

evaluation item	one-sided <i>p</i> -value				
	0deg	15deg	30deg	45deg	60deg
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp					
布らしさ	0.128	0.062	0.029	0.507	0.312
明るさ	0.033	0.091	0.168	0.268	0.115
柔らかさ	0.114	0.077	0.024 *	0.457	0.156
つや	0.079	0.061	0.211	0.458	0.132
S2 : Cotton/Twill/Silket/Warp					
布らしさ	0.047	0.121	0.201	0.107	0.118
明るさ	0.015 *	0.004 *	0.285	0.431	0.254
柔らかさ	0.246	0.112	0.111	0.246	0.467
つや	0.147	0.204	0.412	0.192	0.313
S3 : Cotton/Satin/Warp					
布らしさ	0.016 *	0.008 *	0.010 *	0.146	0.209
明るさ	0.030	0.065	0.169	0.054	0.065
柔らかさ	0.175	0.031	0.019 *	0.039	0.206
つや	0.018 *	0.082	0.008 *	0.028	0.156
S4 : Silk/Plain/Warp					
布らしさ	0.244	0.521	0.079	0.156	0.398
明るさ	0.049	0.037	0.035	0.017 *	0.028
柔らかさ	0.377	0.449	0.276	0.220	0.408
つや	0.168	0.116	0.415	0.414	0.310
S5 : Wool/Plain/Warp					
布らしさ	0.285	0.313	0.016 *	0.202	0.208
明るさ	0.031	0.233	0.258	0.058	0.098
柔らかさ	0.332	0.417	0.073	0.260	0.227
つや	0.153	0.257	0.082	0.307	0.173
S6 : Linen/Plain/Warp					
布らしさ	0.485	0.140	0.158	0.111	0.307
明るさ	0.109	0.189	0.349	0.300	0.156
柔らかさ	0.199	0.116	0.084	0.461	0.426
つや	0.419	0.460	0.123	0.208	0.432
S7 : Rayon/Plain/Warp					
布らしさ	0.233	0.431	0.430	0.310	0.151
明るさ	0.174	0.024 *	0.072	0.018 *	0.024 *
柔らかさ	0.444	0.445	0.303	0.253	0.192
つや	0.225	0.430	0.340	0.065	0.186
S8 : Nylon/Plain/Warp					
布らしさ	0.518	0.402	0.236	0.500	0.063
明るさ	0.039	0.148	0.047	0.036	0.052
柔らかさ	0.487	0.182	0.456	0.233	0.210
つや	0.113	0.106	0.067	0.117	0.283
S9 : Polyester/Plain/Thin/Warp					
布らしさ	0.014 *	0.021 *	0.042	0.053	0.110
明るさ	0.017 *	0.026	0.002 *	0.085	0.044
柔らかさ	0.079	0.079	0.170	0.067	0.058
つや	0.009 *	0.195	0.141	0.252	0.076
S10 : Polyester/Plain/Thick/Warp					
布らしさ	0.460	0.338	0.310	0.441	0.218
明るさ	0.004 *	0.000 *	0.001 *	0.006 *	0.016
柔らかさ	0.085	0.038	0.149	0.044	0.291
つや	0.034	0.018 *	0.068	0.046	0.038

Note. Significance: ***p*<0.01, **p*<0.05.

た。最もばらつきがみられたのはS10の観察角度 30degの評価項目「布らしさ」での9.07であったが、多くは標準偏差6～8であり、3～4とばらつきの少ない結果も多かった。異なる2つの刺激を同時に視感して評価するという実験であったが、適切な手続きにより、被験者間の評価に大きな差が現れなかったことが示唆された。

3.2. 本実験結果との比較

本報告の視感比較測定を予備の実験と位置づけ、3か月後に本実験を行った。その結果の詳細は別途報告する予定である。本実験での評価刺激の画像作成方法や評価項目、評価の手続きなどはすべて前項に示した本報告の方法と同じであった。異なったのは、評価者と評価時期であり、測定時期は、2015年2月から3月であった。評価者は本短大に在籍する女子学生（18歳～20歳）としたが、本実験と予備実験では異なる評価者であった。視覚などの問題はともになかった。本実験の評価者数は20名であったが、回答に欠損がみられた評価者がいたため除外し、評価者数は19名として分析した。

Table 4-1 Results of the t-test: equal variance.

evaluation item	two-sided <i>p</i> -value				
	0deg	15deg	30deg	45deg	60deg
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp					
布らしさ	0.84	0.35	0.48	0.48	0.18
明るさ	0.50	0.82	0.58	0.83	0.42
柔らかさ	0.11	0.37	0.14	0.07	0.06
つや	0.82	0.64	0.61	0.32	0.04 *
S2 : Cotton/Twill/Silket/Warp					
布らしさ	0.64	0.45	0.65	0.24	0.92
明るさ	0.34	0.49	0.69	0.61	0.85
柔らかさ	0.32	0.99	0.43	0.28	0.68
つや	0.28	0.20	0.12	0.57	0.64
S3 : Cotton/Satin/Warp					
布らしさ	0.14	0.40	0.70	0.53	0.78
明るさ	0.32	0.23	0.16	0.75	0.84
柔らかさ	0.29	0.21	0.63	0.09	0.16
つや	0.52	0.53	0.58	0.18	0.74
S4 : Silk/Plain/Warp					
布らしさ	0.44	0.34	0.21	0.44	0.41
明るさ	0.14	0.15	0.33	0.26	0.31
柔らかさ	0.33	0.14	0.25	0.78	0.77
つや	0.43	0.07	0.06	0.24	0.52
S5 : Wool/Plain/Warp					
布らしさ	0.40	0.63	0.88	0.36	0.52
明るさ	0.35	0.12	0.12	0.12	0.80
柔らかさ	0.35	0.63	0.98	0.72	0.61
つや	0.66	0.84	0.86	0.62	0.93
S6 : Linen/Plain/Warp					
布らしさ	0.14	0.40	0.74	0.98	0.66
明るさ	0.40	0.14	0.39	0.62	0.92
柔らかさ	0.64	0.36	0.89	0.92	0.82
つや	0.17	0.33	0.66	0.99	0.77
S7 : Rayon/Plain/Warp					
布らしさ	0.68	0.67	0.38	0.78	0.97
明るさ	0.19	0.78	0.79	0.67	0.73
柔らかさ	0.52	0.67	0.76	0.51	0.45
つや	0.58	0.33	0.50	0.78	0.83
S8 : Nylon/Plain/Warp					
布らしさ	0.02 *	0.03 *	0.04 *	0.03 *	0.45
明るさ	0.34	0.14	0.03 *	0.09	0.14
柔らかさ	0.16	0.21	0.00 *	0.01 *	0.05
つや	0.24	0.04 *	0.00 *	0.10	0.64
S9 : Polyester/Plain/Thin/Warp					
布らしさ	0.68	0.73	0.79	0.65	0.18
明るさ	0.72	0.57	0.31	0.43	0.99
柔らかさ	0.67	0.82	0.69	0.86	0.13
つや	0.42	0.34	0.87	1.00	0.68
S10 : Polyester/Plain/Thick/Warp					
布らしさ	0.94	0.91	0.98	0.79	0.47
明るさ	0.70	0.90	0.74	0.84	0.82
柔らかさ	0.87	0.64	0.55	0.84	0.54
つや	1.00	0.54	0.52	0.41	0.30

Note. Significance: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

予備実験と本実験の測定結果について、各試料布と各評価項目、各観察角度で回答のばらつきに相違がないかを確認するためにF検定により分散の検定を行った。その結果はTable3に示す通りである。

前項の結果で記述した通り、予備的実験と位置付けた本報告の視感比較評価では、評価者間に回答にばらつきが少なかった。しかしTable3に示した通り、本実験結果とは有意差 (*: $p < 0.05$) が認められる結果があり、その結果はすべて、本実験の方が回答のばらつきが大きかった。評価項目「柔らかさ」と「つや」に有意差が認められた結果もあったが、評価項目「布らしさ」と「明るさ」で有意差が現れた試料布と観察角度が多かった。とくに、評価項目「布らしさ」はS3(綿・朱子織)とS9(ポリエステル・薄地・平織)の2つ以上の観察角度で有意差が認められ、「明るさ」はS2(綿・シルケット加工・綾織)とS7(レーヨン・平織)、S9、S10(ポリエステル・厚地・平織)の2つ以上の観察角度で有意(*: $p < 0.05$)な差があった。

分散は等しい結果と等しくない結果があったため、前者と後者を仮定した平均値の差の検定をt検定により行った。分散が

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価—予備実験結果

Table 4-2 Results of the t-test: unequal variance.

evaluation item	two-sided <i>p</i> -value				
	0deg	15deg	30deg	45deg	60deg
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp					
布らしさ	0.82	0.27	0.38	0.48	0.16
明るさ	0.41	0.79	0.54	0.82	0.36
柔らかさ	0.07	0.29	0.07	0.07	0.03 *
つや	0.79	0.57	0.57	0.31	0.02 *
S2 : Cotton/Twill/Silket/Warp					
布らしさ	0.57	0.38	0.62	0.18	0.90
明るさ	0.23	0.36	0.67	0.60	0.83
柔らかさ	0.28	0.98	0.36	0.25	0.67
つや	0.22	0.16	0.11	0.53	0.62
S3 : Cotton/Satin/Warp					
布らしさ	0.06	0.27	0.61	0.47	0.76
明るさ	0.22	0.15	0.12	0.70	0.81
柔らかさ	0.24	0.12	0.54	0.04	0.13
つや	0.41	0.46	0.48	0.10	0.71
S4 : Silk/Plain/Warp					
布らしさ	0.41	0.35	0.28	0.49	0.40
明るさ	0.08	0.08	0.23	0.16	0.21
柔らかさ	0.32	0.14	0.29	0.80	0.76
つや	0.37	0.04 *	0.08	0.25	0.49
S5 : Wool/Plain/Warp					
布らしさ	0.36	0.60	0.85	0.31	0.48
明るさ	0.25	0.09	0.10	0.06	0.77
柔らかさ	0.32	0.62	0.98	0.69	0.58
つや	0.61	0.83	0.84	0.60	0.92
S6 : Linen/Plain/Warp					
布らしさ	0.17	0.34	0.71	0.98	0.64
明るさ	0.33	0.10	0.37	0.60	0.91
柔らかさ	0.88	0.29	0.87	0.92	0.82
つや	0.63	0.33	0.61	0.99	0.78
S7 : Rayon/Plain/Warp					
布らしさ	0.65	0.66	0.39	0.77	0.96
明るさ	0.15	0.73	0.75	0.59	0.67
柔らかさ	0.51	0.66	0.75	0.48	0.40
つや	0.54	0.34	0.52	0.74	0.81
S8 : Nylon/Plain/Warp					
布らしさ	0.03 *	0.03 *	0.03 *	0.03 *	0.36
明るさ	0.25	0.10	0.01 *	0.04 *	0.08
柔らかさ	0.16	0.16	0.00 *	0.01 *	0.09
つや	0.18	0.02 *	0.00 *	0.06	0.61
S9 : Polyester/Plain/Thin/Warp					
布らしさ	0.60	0.66	0.75	0.58	0.13
明るさ	0.65	0.48	0.17	0.35	0.98
柔らかさ	0.61	0.78	0.66	0.83	0.07
つや	0.29	0.30	0.86	1.00	0.63
S10 : Polyester/Plain/Thick/Warp					
布らしさ	0.94	0.91	0.98	0.78	0.43
明るさ	0.62	0.87	0.65	0.80	0.77
柔らかさ	0.85	0.57	0.50	0.80	0.51
つや	1.00	0.43	0.44	0.31	0.21

Note. Significance: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

等しいと仮定した検定の結果を Table4-1 に示し、等しくないと仮定した検定結果を Table4-2 に示す。

S1 (綿・シルケット加工・平織) の評価項目「つや」の観察角度 60 度 (等分散) と S8 (ナイロン・平織) の「布らしさ」の観察角度 0, 15, 30, 45 度, 「明るさ」の 30 度, 「柔らかさ」の 30, 45 度, 「つや」の 15, 30 度 (S8 はいずれも不等分散) では, 予備実験と本実験の平均値の差に有意差 (* $p < 0.05$) が認められた。しかしこれら以外は, 予備実験とした本報告の実験と本実験に位置付けた結果の評価平均値の間に有意差は認められなかった。よって, この視感評価実験では評価者と測定時期が異なっても安定して比較評価結果が得られることを確認した。

3.3. 対照画像の評価平均値

予備実験と位置付けた本報告の実験では, 布の微小面からの反射特性を反映させた布の 3DCG 画像を作成したが, さらに対照刺激として, 表面に織組織のない平らな CG 画像 (A2) と写真画像 (A3) を作成し, 実物試料布と視感比較実験を行った。その評価結果を各試料布と各評価項目, 5 観察角度ごとにまとめた表が Table5 である。

評価項目「布らしさ」において、5 観察角度の評価値平均が 70%以上であったのは、S1（綿・シルケット加工・平織）のA3 とS7（レーヨン・平織）のA2 であった。他の評価項目では、S1 のA2 とS4（絹・平織）のA2, S7 のA2 の「明るさ」と「つや」で5 観察角度の評価値平均が 70%以上となった。これらは、評価値だけを観察すると値が高いと思われるが、標準偏差は 10 以上が多く、布の 3DCG 画像に比べて、評価者間の評価のばらつきが顕著であった。観察角度ごとの結果では、評価項目「布らしさ」で最も高い評価値を示したのは、S1 の 15 度におけるA3 であり、次は 0 度の結果であった。試料布と画像をほぼ正面から比較評価した結果であったが、同条件でのS4 とS7 の結果は高くなかった。S1 に比べてS4 とS7 の織糸は細いため、正面から目視で評価した場合は織組織が認識し難い。そのため、S1 とS4, S7 の反射率を実物試料布と近似させた写真画像であるにも関わらず、試料布によって繊維や織糸の太さが相違するため、評価が異なると推察される。

また、布の 3DCG 画像の結果の特徴として、観察角度が 0 度から 60 度へと大きくなるに従い

Table 5 Results of visual comparative evaluation: control stimulus.

(n=8)

evaluation item	evaluation value (%)										Mean of 5 angles	
	0deg		15deg		30deg		45deg		60deg			
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp												
A2	布らしさ	66.75	11.60	66.75	19.72	66.88	18.50	68.75	14.82	71.13	17.49	68.05
	明るさ	72.50	13.89	68.75	15.75	69.88	14.15	77.50	8.45	75.63	12.66	72.85
	柔らかさ	63.13	11.00	66.88	17.31	66.88	15.10	64.38	12.08	70.00	11.65	66.25
	つや	75.00	14.88	70.63	14.74	71.88	15.10	68.63	13.29	74.75	10.24	72.18
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp												
A3	布らしさ	76.88	9.23	78.13	13.61	75.00	15.12	71.88	13.61	73.13	16.02	75.00
	明るさ	70.63	6.78	69.38	9.43	68.13	9.61	64.38	10.16	65.63	10.84	67.63
	柔らかさ	66.88	11.00	72.50	12.54	68.75	11.57	63.13	9.98	67.25	14.90	67.70
	つや	66.25	10.26	73.75	12.17	72.50	7.56	66.25	11.26	66.25	12.17	69.00
S4 : Silk/Plain/Warp												
A2	布らしさ	63.75	14.08	64.38	15.45	65.00	12.25	70.63	11.48	70.63	11.78	66.88
	明るさ	70.50	11.17	70.00	8.02	70.63	9.04	76.88	9.23	81.25	7.44	73.85
	柔らかさ	63.88	8.03	65.63	10.50	68.13	12.80	68.13	9.98	69.38	10.16	67.03
	つや	70.50	10.38	71.88	11.00	71.25	9.91	73.13	10.33	75.50	10.45	72.45
S4 : Silk/Plain/Warp												
A3	布らしさ	63.75	11.88	67.13	9.43	69.75	11.67	68.50	11.99	72.50	14.14	68.33
	明るさ	56.88	9.23	60.63	10.50	60.63	10.16	64.38	8.63	65.38	8.85	61.58
	柔らかさ	59.38	10.50	63.75	12.46	65.00	11.95	67.13	13.22	66.00	12.91	64.25
	つや	61.25	8.76	64.38	9.43	63.75	8.76	65.63	6.78	64.38	9.04	63.88
S7 : Rayon/Plain/Warp												
A2	布らしさ	71.25	12.46	67.50	11.65	68.75	14.58	72.50	11.95	71.25	10.26	70.25
	明るさ	70.63	9.43	70.25	7.65	71.88	7.04	79.38	5.63	81.13	9.93	74.65
	柔らかさ	66.88	9.98	67.25	10.65	69.38	14.50	70.00	10.35	69.25	10.01	68.55
	つや	70.00	5.35	71.00	7.98	72.50	8.45	77.50	5.35	76.88	7.04	73.58
S7 : Rayon/Plain/Warp												
A3	布らしさ	62.50	15.58	65.00	16.26	69.38	17.41	68.13	15.34	70.13	16.17	67.03
	明るさ	54.38	9.04	58.38	9.09	60.63	8.21	61.88	7.99	63.75	9.91	59.80
	柔らかさ	56.25	9.54	59.00	12.34	60.00	13.36	60.50	13.11	64.25	10.08	60.00
	つや	54.75	7.69	53.75	8.35	58.00	10.85	58.13	9.61	62.50	5.35	57.43

Note. The following images are tagged with two labels. A2: plane image, A3: photo image.

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価—予備実験結果

評価値も高くなったが、対照画像では多くの結果で直線的な値の増加は観察されなかった。顕著な結果としては、S1 のA2 の評価項目「つや」において、0 度で 75% の評価であったのに、45 度では約 69% の評価値となった。また既述の通り、対照画像は全般的に評価者間にばらつきがあったため標準偏差が高かった。前者の 0 度では 75% と高い評価であったが、標準偏差も 14.88 と大きく、45 度では評価値が低かったが、標準偏差は 13.29 であった。

3.4. 作成した布の 3DCG 画像と対照画像の結果の比較

前項に示した通り被験者の評価にばらつきがあり、顕著な項目では標準偏差に 3 倍の違いが現れた。そのため分散分析ではなく、ノンパラメトリック検定であるフリードマン検定を行い、4 つの評価項目と 5 つの観察角度において、布の 3DCG 画像と対照画像である平面画像、写真画像との評価値を比較した。その結果は Table 6 に示す。

S1 (綿・シルケット加工・平織) では、4 つの評価項目のうち、「布らしさ」の観察角度 0 度と「明るさ」の 45 度と 60 度において有意差 ($*:p<0.05$) が認められた。そのため、多重比較を行い、いずれも A1 (布の 3DCG 画像) の方が A3 (写真画像) より評価が有意に高い ($*:p<0.05$) ことが明らかになった。

S4 (絹・平織) では、4 つの評価項目のうち、「明るさ」の観察角度 15 度以外で有意差 ($*:p<0.05$) が認められた。0 度では A2 (平面画像) が A3 より評価が有意に高く、30 度と 45 度、60 度では A1 が A3 より有意に評価が高かった。また、評価項目「つや」の 60 度でも有意差が認められ、A3 より A1、A3 より A2 の評価が有意に高く、A3 が最も評価が低かったことが明らかになった。(いずれも $*:p<0.05$)

S7 (レーヨン・平織) では、有意差が認められた評価項目が多く、4 つの評価項目のうち、「明るさ」と「柔らかさ」、「つや」で画像刺激間の相違が明らかになった。またこれらの項目では多くの観察角度で A3 より A2 の評価が高くなった (いずれも $**p<0.01$, $*:p<0.05$)。

A1 と A2 はいずれも、前報において測定した布の微小面の反射特性を反映させて画像を作成した。A1 は 3DCG で表面に織組織が現れるようモデリングを工夫したが、A2 は粗面ではない平らな面の画像とした。比較する実物試料布とルミナンスファクターを近似させたにも関わらず、A2 の評価が有意に低い結果が出た理由として 2 つ挙げられる。一つは、織糸を忠実に再現しなかったことである。画像全体のルミナンスファクターを近似させても織糸の陰影による明度変化を含んでいなければ、被験者の布の質感や現実感に対する評価が低くなることが推察される。また、もう一つの理由として、画像の角度を変化させると画面端にピンライト状の白点が現れたことが評価に影響を与えたと考えられる。この白点は消去が可能であるので、本実験では改良を行った。

試料や観察角度によっては A3 も低い評価となった。この理由としては、背景の黒色が理由ではないかと考えられる。黒の吸光シートを背景にして、各試料布を等倍率で撮影して写真画像としたが、ディスプレイでは背景のシートが自動的に明度変換され、灰色になっていた。本報

Table 6 Results of the Friedman-test.

evaluation item	<i>p</i> -value	multiple comparison								
	0deg		15deg		30deg		45deg		60deg	
S1 : Cotton/Plain/Silket/Warp										
布らしさ	0.018 *	A1>A3 *	0.149		0.430		0.687		0.666	
明るさ	0.755		0.969		0.296		0.019 *	A1>A3 *	0.044 *	A1>A3 *
柔らかさ	0.803		0.969		0.755		0.315		0.140	
つや	0.417		0.883		0.755		0.687		0.093	
S4 : Silk/Plain/Warp										
布らしさ	0.430		0.197		0.315		0.607		0.261	
明るさ	0.040 *	A2>A3 *	0.140		0.021 *	A1>A3 *	0.008 *	A1>A3 *	0.009 *	A1>A3 *
柔らかさ	0.123		0.666		0.315		0.911		0.197	
つや	0.216		0.380		0.102		0.123		0.019 *	A1>A3 *
S7 : Rayon/Plain/Warp										
布らしさ	0.223		0.553		0.430		0.883		0.417	
明るさ	0.010 *	A2>A3 **	0.030 *	A2>A3 *	0.033 *	A1>A3 *	0.002 *	A1>A3 *	0.010 **	A1>A3 *
								A2>A3 **		A2>A3 **
柔らかさ	0.072	A2>A3 *	0.315		0.315		0.168		0.123	
つや	0.003 *	A2>A3 **	0.007 **	A2>A3 **	0.080		0.001 *	A2>A3 **	0.016 *	A2>A3 *

Note. The following images are tagged with three labels. A1: 3DCG image of cloth, A2: plane image, A3: photo image. Significance: ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

告の目的の一つに、実物試料布を忠実に撮影した対照刺激について、実験結果から改良点を見出して本実験に臨むことがあった。よって、写真画像の背景については目視で認識される吸光シートの黒に近くなるよう修正を行い、中心画像以外の背景色は、A1 と A2, A3 の 3 種類の刺激とも統一することとした。

4. まとめ

本報告の実験は予備実験と位置付けて、3DCGによる布画像の視感比較評価実験の刺激画像や方法、手続きの有用性を検討した。その結果、以下の3点が示唆された。

1. 布の3DCG画像と実物の試料布とを視感比較して評価を行った。時期と評価者を替えて実験した結果、2つの標本の間において分散と平均値に有意な差は認められず、刺激や評価項目、実験手続きなどに問題はなかった。
2. 対照刺激のうち平面画像については、画像の角度変化に伴って表出するピンライト状の白点を修正しなければならないことが明らかになった。
3. 対照刺激のうち写真画像については、背景となる黒の明度が撮影したデジタルカメラにより自動調整されていた。3種類の刺激画像はともに背景の黒の明度を同等にし、中心画像のみの視感比較が行えるよう修正しなければならないことが明らかになった。

引用文献

- 1) S. H. Westin, J. R. Arvo, K. E. Torrance: Predicted Reflectance Functions from Complex Surfaces.

3DCG で作成された繊維別布画像の視感比較評価－予備実験結果

SIGGRAPH' 92. 1992, 255-264

- 2) M. Ashikhmin, S. Premoze, P. Shirley: A Microfacet-based BRDF Generator. SIGGRAPH' 00. 2000, 65-74
- 3) 武田祐樹, 坂口嘉之, 田中弘美: 小数視点画像の反射光解析に基づくシルクライク織物の異方性反射レンダリング. 芸術科学会論文誌. 2008, 7 (4), 132-144
- 4) S. Zhao, W. Jakob, S. Marschner, K. Bala: Building Volumetric Appearance Models of Fabric using Micro CT Imaging. SIGGRAPH2011. 2011, 391-401
- 5) 坂上ちえ子, 須長正治: マイクロスコープと偏光フィルタによる画像測定に基づく布反射特性の解析. 日本家政学会誌. 2014, 65 (7), 347-359

