

3次元物体モデリングプロジェクト

- 布物体の異方性反射モデリング -

田中弘美

立命館大学 理工学部 情報学科

1 はじめに

近年のバーチャルリアリティ技術の進展から、臨場感を持って意のままに対話的に展示物を鑑賞、操作、体験することができる「時間と空間の壁」を超えるバーチャルミュージアムの実現が期待されている。リアリティが高く臨場感を与える仮想空間/仮想環境を効率的に生成・表示するためには、環境を構成するそれぞれの対象物体の複雑な3次元形状や、表面の模様、質感等を高精度に表現することが可能な3次元物体モデルが必要である。そのため、実体（モノ）に忠実な3次元仮想物体モデルを観測画像データから自動的に生成する方法が必要とされている。

博物館の所蔵する資料や文化財には、能装束や衣装等の様々な布物体が存在する。材質に固有の布物体の光沢や質感は独特であり、その織り構造と繊維の光の透過性により異方性反射を起こす [1]。これを忠実に再現することがコンピュータグラフィックス (CG) やコンピュータビジョン (CV) における重要な課題である。

そこで本研究では、シルクの質感表現を目的とし、少数の多視点画像と分光放射計測データから布の異方性反射モデルを生成する方法を提案する。繊維の断面形状の違いにより布の光沢の相違が現れることに着目し、繊維の断面形状と織り構造に基づいて視点を選択し、高精細カメラと分光放射計を用いて布表面を観測する。得られた画像計測データより、素材固有の光沢の違いを表現する布の異方性反射特性を抽出しモデル化する。さらに黒色のポリエステル・サテン地の異方性反射モデルを生成し、得られたモデルを用いて、任意の色のシルクライクな布物体の質感表現を試みた。

2 布地の構造

合成繊維の布地は、天然繊維の布地が持つ材質に固有の光沢や質感を再現するために、図1に示すような様々な断面形状を持つ繊維を用いている。図2に示すように、天然シルク繊維の断面はやや扁平な丸みを帯びた三角形状をしており、シルクライクな合成繊維 (ポリエステル) の断面形状は、図3に示すように、三角形状をしている。

また、図4(b)に示すように、シルクライクな布地の織り方は縞子織りの中のサテンと呼ばれるもので、図

4(a)の横糸と縦糸が交互に表れる平織りと比べて、布表面に横糸よりも縦糸が多く現れる。このようにシルクライクな布の光沢と質感を表現するためには、繊維の断面形状と織り構造の二つの要素を考慮した反射モデルが有効である [2]。

3 繊維の断面形状に基づく布の反射強度

3.1 微小面方向分布からの反射強度

シルクライクなポリエステル布地は繊維の断面形状が三角形状であることから、表面における微小面の方向分布は図5のようになる。

図5(a)は縦糸に沿った縦断面での法線分布である。サテンのポリエステルの織り構造をみると、布表面には殆ど縦糸が現れている。そのため縦糸に沿った方向の断面では、殆どの微小面は一般の布と同様に鉛直方向を向き、傾いた面の数は急激に減少する。一方、図5(b)は、縦糸に垂直な方向の断面における微小面の法線分布である。ポリエステルの糸の断面がほぼ三角形に近い形状をしているため、一般の布とは異なり、鉛直方向を向く微小面の数は非常に少なく、傾いた方向の微小面が多く含まれる。

以上で導いた微小面方向分布をもとに、ポリエステルの反射強度を推定すると図6のようになる。



図1: 合成繊維の断面形状

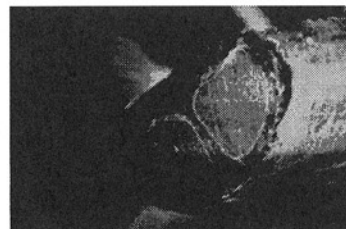
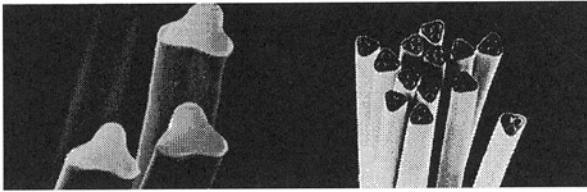


図2: シルクの断面形状



(a) ポリエステル (三角形断面) (b) ポリエステル (中空断面)

図 3: シルクライク合成繊維 (ポリエステル) の断面形状

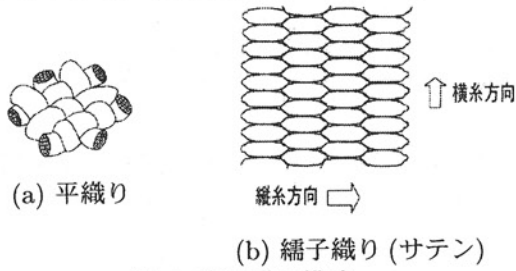
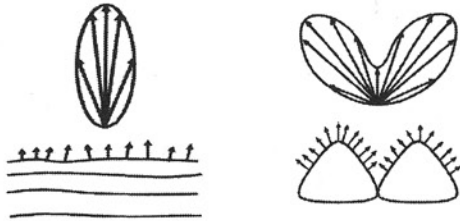


図 4: 布の織り構造

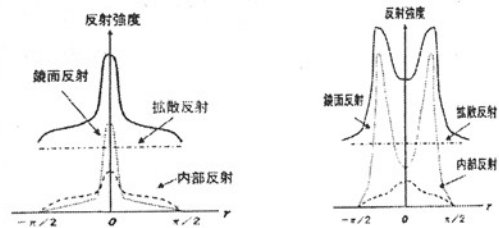


(a) 縦糸に沿った方向 (b) 縦糸に垂直な方向
図 5: シルクライク布地の微小面方向分布

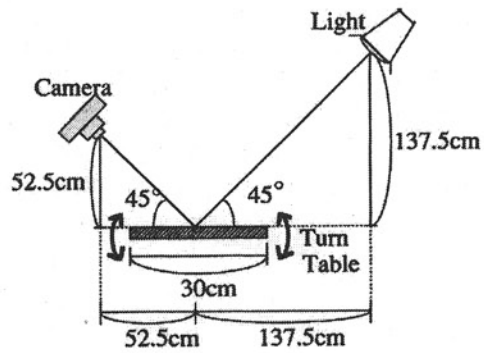
3.2 測定データに基づく異方性反射

対象織布としてポリエステル製のサテン布地を用い、高分解能カラーカメラと分光放射計を用いて多視点から表面反射光強度を測定した。測定には LeafDSC-2K、解像度 2048 × 2048、RGB 値各 16 ビットの高分解能カラーカメラと、測定波長 390nm~730nm 測定方式ホログラフィック凹面回折格子の阿部設計 MODEL-2706 分光放射計を使用。光源には Video Light 1500(L2371) 100v 500w のハロゲンランプを使用した。図 7(a) に示すように、光源方向、視点方向と織布の織り方向に、光源とカメラを固定し、試料台を水平方向と垂直方向に回転させた。図 7(b) に示すように、水平方向に 45 度毎に 4 回転し、各水平回転毎に垂直方向に 3 度毎回転し、反射光強度を測定した。図 8 に示すように、横糸、縦糸、横糸から 45 度、横糸から 135 度の 4 方向の反射強度曲線を抽出した [3]。

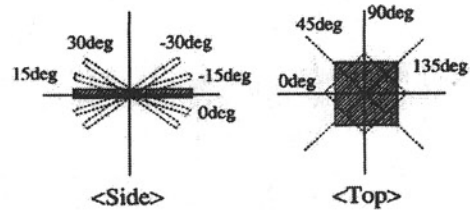
これらの 4 方向の反射強度曲線を基に、その間をなめらかに補間する NURBS 曲面を生成し、対象織布の異方性反射特性モデルを推定した。得られた異方性反射モデルを図 9 と図 10 に示す。



(a) 縦糸に沿った方向 (b) 縦糸に垂直な方向
図 6: ポリエステル布地の反射強度



(a) 測定環境



(b) 試料台の自由度

図 7: 多視点光反射観測システム

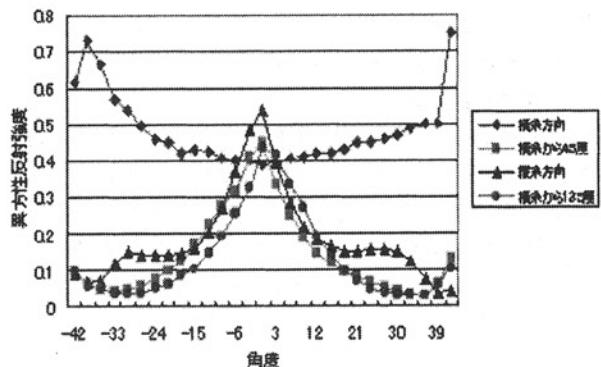


図 8: 分光放射輝度計を用いた反射強度測定

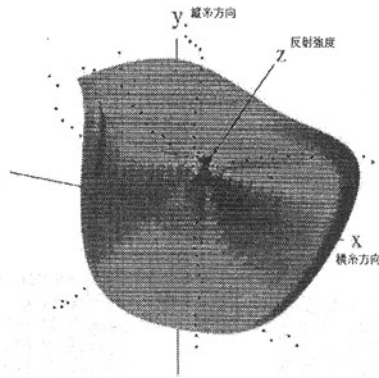
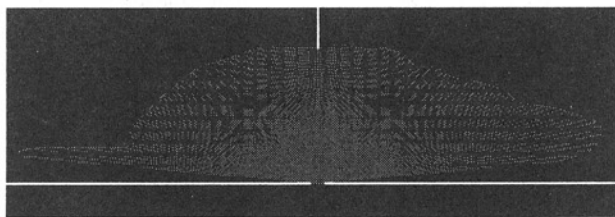
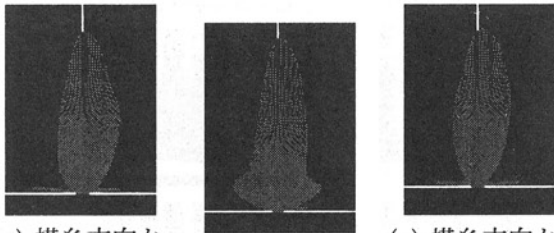


図 9: 測定データに基づく異方性反射モデル (NURBS 曲面)



(a) 横糸方向



(a) 横糸方向から 45 度 (b) 縦糸方向 (c) 横糸方向から 135 度

図 10: 異方性反射モデルの球座標表現

4 異方性反射モデルを用いる布レンダリング

異方性反射モデルを用いるレンダリングの処理の流れを図 13 に示す。布表面を微小面の集まりと考えるその微小面を三角パッチで表現する。前提条件として布の織り方向 (縦・横糸方向) を既知とする。図 11 に、光源・視点・布の織り方向の幾何関係を示す。また、レンダリングの処理の流れを図 13 に示す。

Step0: 光源ベクトル L と視点ベクトル N を入力とする。

Step1: 光源ベクトル L と布表面の法線方向 N から入射角 θ を求める。

Step2: 光源ベクトル L の布表面への投影ベクトルと織り方向 (横糸方向) のズレ角 α を求める。

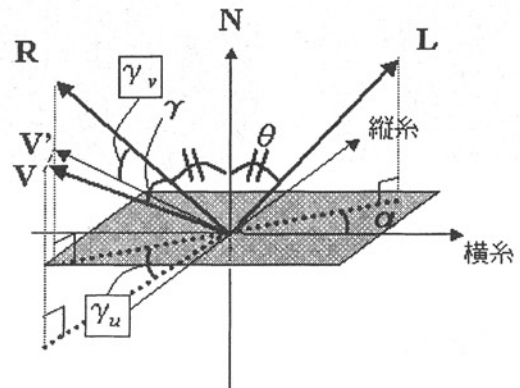
Step3: 光源ベクトル L と法線方向 N から鏡面反射ベクトルを算出し、視点ベクトル V との成す角 γ を求める。

Step4: 視点ベクトル V と横糸方向の成す角 γ を布平面と入射平面の 2 つの成分に分割する (γ_u, γ_v)。

Step5: 異方性反射モデル (NURBS 曲面) 上の v 方向に γ_v を代入し、 u 方向に $\alpha + \gamma_u$ を代入し Z 軸の座標値を異方性反射強度とする。

図 9 の異方性反射モデルを真上から見た模式図を示す。Step4 で求めた 2 つのずれ角 γ_u, γ_v のパラメータと、入射光と Step2 横糸方向のズレ角 α により XY 平面の座標を算出し、その点の Z 座標値を異方性反射強度とする。図 12 では、まず X 軸から左回りに $\alpha + \gamma_u$ 回転させ、その直線上の γ_v に位置する点の Z 座標値が異方性反射強度となる。

図 14 に、異方性反射モデルを用いたシルクライク布の、それぞれの横糸方向と縦糸方向から照明したレンダリング結果を示す。さらに、図 15 に異方性反射モデルを用いて、任意の色情報を指定することにより、任意の色付きシルクライク布画像を作成した結果を示す。



L: 光源方向 R: 鏡面反射方向 V: 視点ベクトル
V': 視点ベクトルの入射平面への写像
 α : 光源方向の投影ベクトルと横糸の成す角度
 γ : 視点ベクトルと鏡面反射方向ベクトルが成す角度
図 11: 光源・視点・織り方向の幾何関係

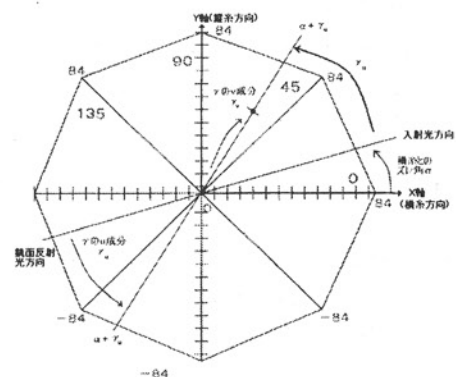


図 12: 異方性反射モデル (NURBS 曲面) を真上から見た図

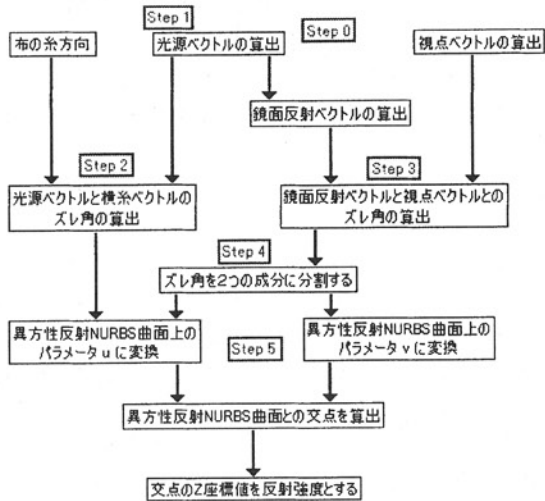
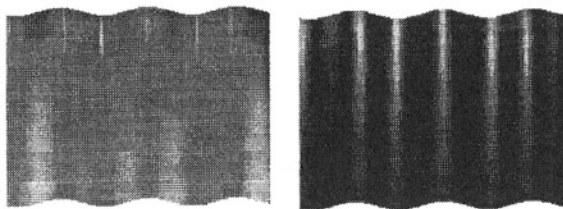


図 13: 異方性反射レンダリング法



(a) 横糸方向 (b) 縦糸方向

図 14: 実験結果 (黒布サテン)

5 まとめ

対象織布の織り方向と反射強度の関係と、高精度カメラと分光反射形を用いて獲得された布の異方性反射の計測データと、整合性が高いことが確認できた。さらに、糸の断面形状と織り構造の2つを考慮することにより、実物体に忠実な異方性反射モデルを生成できることが確認できた。また実験結果から、シルク特有の光沢が現れていることにより、本モデルの有効性が確かめられた。

参考文献

- [1] David Baraff, Andrew Witkin: "Large Steps in Cloth Simulation", pp43-54, Proc.SIGGRAPH98, 1998
- [2] 原田隆司: "着ごちと科学", 裳華房, 1996-05
- [3] 高木, 田中: "布の光反射モデルのための表面反射特性の推定", 信学春季全大, 1997

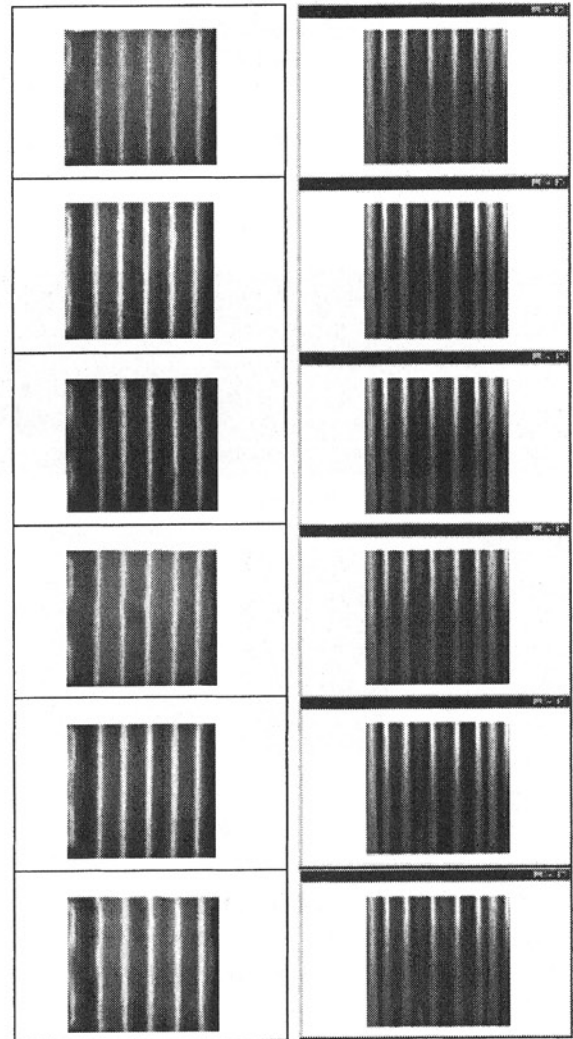


図 15: 異方性反射モデルを用いた任意色のシルクライクな布の質感表現 (任意色サテン)