

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 23 日現在

機関番号：33601
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2011
 課題番号：21700270
 研究課題名（和文） 3次元デジタルアーカイブを目的とした美術品の分光ベース光反射モデルの構築
 研究課題名（英文） Development of multi-spectral based reflection model of art objects for 3D digital archives
 研究代表者
 田中 法博 (TANAKA NORIHIRO)
 長野大学・企業情報学部・教授
 研究者番号：90387415

研究成果の概要（和文）：本研究では3次元デジタルアーカイブのための分光ベースの光反射モデルを構築する。一般的に美術品においては光沢や陰影等の見え方が見る角度や照明方向に依存するため、美術品のデジタルアーカイブは難しい。そこで本研究では、物体表面に対して、様々な入射角度や受光角度を変化させながら画像計測し、物体表面の分光的な光反射特性を推定する手法を開発する。さらに画像計測データから推定した反射特性に基づいて、物体をコンピュータグラフィックス(CG)で再現する手法を提案する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we develop multi-spectral based reflection models for 3 dimensional (3D) digital archives. Generally, it is difficult to digital archive an art object because appearance of the object such as gloss or shade is changed depending on viewing and illumination directions. Therefore, we develop a method for estimating the multi-spectral reflection properties of the object based on gonio-spectral image measurements for 3 D digital archives. Moreover, we propose a method for the precise rendering and color re-production of art objects based on a multi-spectral reflection model and the estimated reflection properties detected by imaging the object surface.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・図書館情報学・人文社会情報学

キーワード：デジタルアーカイブ、反射モデル、文化財、画像計測、3DCG

1. 研究開始当初の背景

(1) 従来法の課題(写真ベース)

美術品や文化財に関する一般的なデジタルアーカイブは写真やビデオでの撮影に基づくものが多い。この場合、以下に示す2つの問題が生じる。

①画像(写真)は照明方向や鑑賞者の視点(位置)が撮影時の状況や状態で永久に固定され

る。②画像はカメラや表示デバイスの色特性により、再現画像と実物の色が異なるという問題がある。

(2) 従来法の課題(3DCGベース)

多くの3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)技術に基づいた手法は美術品の3次元形状計測に主眼を置いており、色情報は画

像情報を直接マッピングするといった手法が用いられている。この方法では、物体表面で生じる陰影や光沢といった3次元的な色再現についての課題が解決されていない。

(3) 美術品のデジタルアーカイブの課題

美術品にとって独特の光沢や色は視覚的に重要な要素である。たとえば見る角度や照明角度を変えれば、光沢が生じたり、微妙にその色や陰影が変化したりして、それが質感となる。美術品鑑賞においては、鑑賞者が美術品を見る視点や照明のあて方を自由に換えながら、その光沢、形状、色合いを鑑賞できることが重要であり、その光沢や陰影を含む色の再現精度への要求は高い。

(4) 課題解決の方向

上記の課題に対して、分光情報と光反射モデルと呼ばれる数学モデルに基づいた美術品の記録方法が有効である。この手法は照明の種類や映像デバイスに依存せず、また、美術品の光沢や陰影を含めた色の再現が可能となる。

しかし、この方法の問題点は、複雑な光沢や陰影を持つような材質の光反射モデルの構築が難しいことである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、美術品等のデジタルアーカイブ用の「独特の光沢や陰影が生じるような複雑な反射特性を持つ物体の光反射モデル」を計測データに基づいて構築することである。また、ここで構築する光反射モデルの色情報は、映像デバイス特性や照明環境の影響を受けないように分光情報に基づいて記述する。

また、このモデルは精密に物体表面の反射特性を記述できるだけでなく、計測データから容易にパラメータが決定できるようにシンプルな構造となることを目指す。

そして、本研究で構築する光反射モデルを用いて、美術品などを精密にCG再現することを目的とする。このとき「計測時と異なる任意の照明・観測環境を与えても、その環境下で光沢や陰影を含めた色をコンピュータグラフィックス(CG)で精密に再現できる」ことを目指す。

3. 研究の方法

(1) 計測系の開発

物体表面の分光的な反射特性計測はテクスチャを持つ物体にも適用できるように画像計測に基づいて行う。

本研究では、分光画像(分光情報でつくられた画像)と光反射特性を同時に計測するためのマルチバンドカメラ(RGBカラーカメラよりもバンド数が多いカメラ)と電子制御回転

アームで構成された美術品用の光反射計測系(システム)を開発する。図1(左)は本研究で開発した光反射計測系であり、図1(右)は、その計測系の概略図である。

図2は、この計測系の画像計測部のマルチバンドカメラシステムを拡大表示したものである。ここでは特定波長を選択的に透過できる軽量のくし型透過フィルタシステムと市販の高解像度カメラを併用することでマルチバンドカメラシステムを実現している。

この計測系を用いることで、様々な入射角と受光角に対して、分光画像を計測することができるようになる。

(2) 物体の光反射特性の計測と推定

開発した計測系を用いて様々な反射特性を持つ物体の反射光分布を計測し、それに基づいて個々の物体の材質に適した光反射モデルを試作する。このとき物体表面の反射特性(個々の材質の特性)は、光反射モデルパラメータの値として定量化される。

このモデルパラメータは、計測した反射光分布データと構築したモデルとをモデルフィッティングすることによって決定される。

(3) 物体のCG再現

提案手法で構築した反射モデルを用いて様々な物体を映像再現できるアルゴリズムを開発する。また、試作した反射モデルを実際の美術品等の物体に適用してCG再現する。

図3は本研究で開発した分光ベースのレンダリングシステムの概略図である。光反射の計算は分光ベースの光反射モデルで行い、デバイスに依存しない色情報として結果が得られる。そこから各ディスプレイデバイスの特性に基づいて、機器固有の色に変換する。

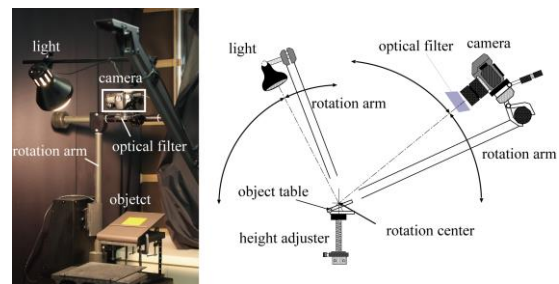


図1. 本研究で開発した光反射計測系



図2. 計測系に取り付けられたマルチバンドカメラシステム(カメラ+光学フィルタ)

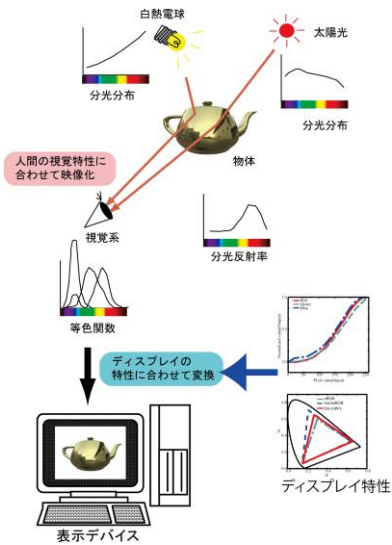


図3. 本研究で開発した分光ベースのレンダリングシステム

4. 研究成果

(1) 概要

本研究で得られた成果は、美術品のデジタルアーカイブに適した反射特性の計測・推定手法の開発と光反射モデルの構築ができたことである。このことにより従来手法では難しかった複雑な反射特性（光沢や陰影）を持つ物体の反射特性を計測し、そのデータに基づいて精密にCG再現できるようになった。

本研究では実際に日本刀や絹織物をはじめ、いくつかの複雑な反射特性を持つ美術品や文化財のデジタルアーカイブを行った。また、本研究で開発した手法は、美術品だけでなく、人の肌のような複雑な反射特性を持つ物体を記録し、それをCG再現できることがわかった。

こういった研究の成果は学術論文、国際会議、学会発表を通して発表を行った。その結果2件の学術賞を受賞した。

さらに、本研究の成果の一部は国立歴史民俗博物館等との共同研究に発展し、実際の美術品や文化財のデジタル展示システムとして実用化の方向性を示すことができた。

(2) 物体の反射特性計測とCG再現結果

提案手法を用いて、塗装物体をデジタルアーカイブし、3DCG再現した。図4は物体表面の反射特性を計測した結果（赤の実線）と提案手法で開発したモデル（青の点線）との適合結果である。図5は、提案手法で物体をCG再現した結果である。

画面上に見る物体は実物で、画面下のディスプレイに映っているCG画像が再現CGである。物体表面の光沢も含めて再現できていることがわかる。

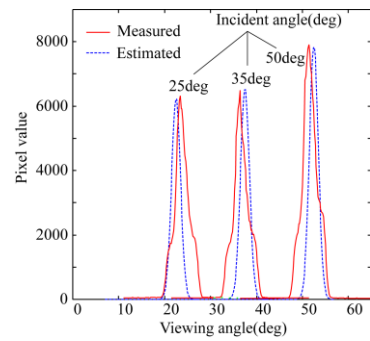


図4. 物体表面の反射特性の計測結果とモデルの適合結果



図5. 物体のCG再現結果

(3) 美術品のデジタルアーカイブ

複雑な光沢をもつ美術品として「日本刀」を対象に提案手法を適用した。ここでは長野県坂城町の宮入小左衛門行平刀匠のご協力を得て、実際の日本刀のデジタルアーカイブを行った。ここで日本刀の光反射特性を計測し、その計測画像を見ると、照明方向の変化により刻一刻とその光沢が変化していることがわかる（図6）。

この日本刀を提案手法でデジタルアーカイブした結果、こういった光沢の変化を含めて日本刀をCG再現することができた。このため自由な照明方向、自由な視点（鑑賞位置）で実際の日本刀のCGを再現できるようになった。

本研究のもう一つの利点は、一度対象物体をデジタルアーカイブすれば、その物体を任意の照明環境下でCG再現できることである。このとき図7(a)は、白熱電球下のホール内を想定し、図7(b)は屋外の太陽光照明下を想定して日本刀をCG再現した結果である。このように物体の見え方は、シーン内の照明条件に依存するが、提案手法では自由にシーン内の照明環境を変えて物体をCG再現できている。

本研究では、上記の日本刀の他にも複雑な光沢をもつ物体として絹織物を対象に光反射モデルを構築した上で、分光反射率や反射特性を推定し、CG再現を行った（図8）。

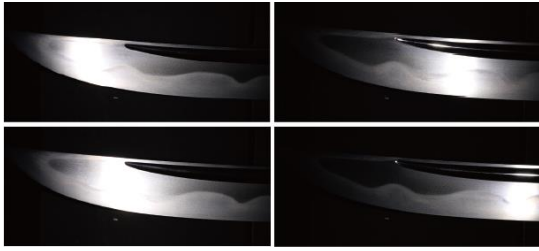


図 6. 照明方向を変えながら撮影した日本刀の計測画像



(a) ホール内のシーン照明下 (白熱電球)



(b) 屋外のシーン照明下(太陽光)

図 7. 日本刀の CG 再現結果



図 8. 絹織物の CG 再現結果

(4) 人間の肌の反射特性の記録と CG 再現

本研究の成果は美術品のみに適用できるだけでなく、様々な対象にも適用可能であることがわかった。本研究の応用範囲や発展性は極めて広い。本研究の当初の予定になかった研究成果の一つは、人間の肌のような生体に対しても提案手法が適用できることが分かったことである。このことから、人間の肌の表面状態を反射特性として定量的に計測でき、その情報をもとに肌の CG 再現が可能となった。

人の肌は半透明な層でできており、肌表面下で複雑な散乱が発生している。本研究では、こういった肌の複雑な光反射をモデル化した上で、その反射特性を推定した。図 9 は、そのようにして構築したモデルと推定した分光反射率やモデルパラメータを用いて CG 再現した人間の肌である。



図 9. 提案手法を用いて人の肌を CG 再現した結果

(5) 学会での受賞等

本研究の成果により、次の 2 件の学術賞を受賞した。①日本デザイン学会 第 57 回大会でグッドプレゼンテーション賞の受賞、②(社)情報処理学会 グラフィクスと CAD 優秀研究発表賞(2009 年 7 月 CG-135 で報告)の受賞である。

(6) 研究成果の実用化に向けた取り組み

①本研究の成果の一部は、国内最大規模の産学連携イベントである「イノベーションジャパン」(主催:JST, NEDO) 2010 年度、2011 年度と採択され、このイベントで研究成果の出展を行った。

ここでは提案手法そのものの展示に加えて、開発した技術のスマートフォンのような携帯型情報機器への実装方法についても提案を行った。

②本研究で得られた成果の一部はデジタル展示システム開発に関する他の研究者との共同研究に発展させることができた。(鈴木ら、デジタル化された歴史研究情報の高度利用に関する研究 2010-2012 年)。図 10 は、そこで開発したシステムの展示の様子である。

この共同研究では、文化財等のデジタル

展示を行う時に、実際の博物館の来館者に使用してもらうためのユーザインタフェース等の展示システムの開発を主たる目的とした。ここで開発したシステムは、非接触型のコントローラを用いることで、身振りや手振りでデジタルアーカイブした文化財の向きや照明環境を操作しながら鑑賞することができる。こういった展示システムを開発し、実際に国立歴史民俗博物館の来館者に使用していただくことで、本科研テーマの成果についても、その実用性を示すことができた。



図 10. 本研究の成果の一部が使用されたデジタル展示システム (国立歴史民俗博物館)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① 田中法博, 望月宏祐: RGB カメラによる全方位分光画像計測と IBL への応用, 画像電子学会誌, 査読有, Vol. 42, No. 4, 2013, 11 pages (採録決定)
- ② 望月宏祐, 田中法博, 戸谷重幸, 森川英明, 三浦幹彦: 分光レイトレーシング法に基づいた相互反射の色再現手法, デザイン学研究, 査読有, Vol.60, No.1, 2013, pp.11-20
- ③ 田中法博: 画像計測に基づく肌の 3DCG 再現技術, *Fragrance journal*, 査読無, Vol. 40, No. 5, 2012, pp.72-78
- ④ 田中法博, 望月宏祐, 禹在勇: 物体表面の反射特性と分光反射モデルに基づいたリアルタイムレンダリング手法, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol. 9, No. 2, 2010, pp.311-321
- ⑤ 望月宏祐, 田中法博, 林一成, 禹在勇, 富永昌治: 分光画像圧縮に基づいた分光ベースレンダリングの高精細化, 日本感性工学会論文誌, 査読有, Vol.9, No. 2, 2010, pp.301-309

[学会発表] (計 66 件)

- ① Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA, Hideaki MORIKAWA: Estimation of

Reflection Properties of Silk Textile with Multi-band Camera, IASDR2013, 4pages, 2013.8.26-30(発表予定), (Japan, Shibaura Institute of Technology)

- ② Chika IWASAKI, Norihiro TANAKA: A CG Reproduction Method of Human Skin under Omni-directional Illumination, IASDR2013, 8 pages, 2013.8.26-30(発表予定), (Japan, Shibaura Institute of Technology)
- ③ 望月宏祐, 田中法博, 森川英明: 絹織物の分光反射率推定と 3 DCG 再現, 日本色彩学会誌(大会予稿論文掲載号), Vol.37, pp.248-249, 2013.5.26, (早稲田大学)
- ④ 田中法博: 分光情報と光反射モデルに基づいた肌の 3 DCG 再現, 日本色彩学会誌(大会予稿論文掲載号), Vol.37, pp.196-197, 2013.5.25, (早稲田大学)
- ⑤ Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO, Hideaki MORIKAWA, Mikihiko MIURA: Goniometric Multi-spectral Imaging for Digital Archive Using a Multi-band Camera, AIC2012, 4pages, 2012.9.23, (Taiwan, Chinese Culture University)
- ⑥ Norihiro TANAKA, Kosuke MOCHIZUKI, Jae-Yong WOO: Imaging and Rendering of Human Skin Using an RGB Color Camera, AIC2012, 4pages, 2012.9.23, (Taiwan, Chinese Culture University)
- ⑦ Shigeyuki TOYA, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO: Estimation of Human Skin Properties Using Smartphone, AIC2012, 4pages, 2012.9.23, (Taiwan, Chinese Culture University)
- ⑧ 望月宏祐, 田中法博, 宮下朋也, 村田良二, 鈴木卓治, 森川英明: 有形文化財のデジタル展示システムの試作, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会論文集, pp.15-18, 2012.6.23, (東京塗料会館)
- ⑨ 田中法博, 望月宏祐: 画像計測に基づく人間の肌反射特性推定と 3 DCG 再現, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会論文集, pp.35-38, 2012.6.23, (東京塗料会館)
- ⑩ Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO, Hideaki MORIKAWA, Mikihiko MIURA: Measurement of Gonio-spectral Reflectance Using Multi-band Camera, Int. Conf. CSAJ2012, pp.240-241, 2012.5.26, (Japan, Kyoto University)
- ⑪ Norihiro TANAKA, Hajime ARAI, Jae-Yong WOO: Color Image Rendering of Human Skin Based on Multi-spectral Reflection Model, Int. Conf. CSAJ2012, pp.242-243, 2012.5.26, (Japan, Kyoto University)
- ⑫ 宮下朋也, 田中法博, 望月宏祐, 村田良二, 鈴木卓治: デジタルアーカイブ用文化財展示システムの試作, 日本色彩学会画像色彩

研究会論文集, 8pages, 2012.3.2, (国立歴史民俗博物館)

- ⑬荒井甫, 田中法博, 禹 在勇, 森川英明, 三浦幹彦: ヒストグラム解析に基づいた絹織物の分光反射率推定, 日本色彩学会誌(大会予稿論文掲載号), Vol.35, pp.44-45, 2011.5.15, (千葉大学)
- ⑭戸谷重幸, 田中法博, 禹 在勇: スマートフォンを用いたデジタルアーカイブ用3DCG再現システム, 日本色彩学会誌(大会予稿論文掲載号), Vol.35, pp.24-25, 2011.5.14, (千葉大学)
- ⑮望月宏祐, 田中法博, 禹 在勇, 三浦幹彦, 森川英明: 絹織物の光反射特性計測, 日本色彩学会画像色彩研究会論文集, pp.9-12, 2011.2.26, (慶應義塾大学)
- ⑯宮下朋也, 田中法博, 望月宏祐: 未較正カメラを用いた分光反射率推定とその精度検証, 情報処理学会研究報告 CG-139, 6pages, 2010.7.16, (名城大学)
- ⑰田中法博, 望月宏祐, 禹 在勇: 日本刀の光沢・形状計測に基づいた3DCG再現, 日本デザイン学会全国大会論文集, pp.146-147, 2010.7.2, (長野大学)
- ⑱田中法博, 望月宏祐, 禹 在勇: GPGPUを用いた分光レイトレーシングの高速化, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会論文集, pp.38-41, 2010.3.5, (千葉大学)
- ⑲林 一成, 田中法博, 禹 在勇: WiiRemoteを用いたデジタルアーカイブ用ユーザインタフェースの設計, 計測自動制御学会中部支部シンポジウム論文集, pp.23-26, 2009.10.30, (メルパルク長野)
- ⑳Kosuke MOCHIZUKI, Kazunari HAYASHI, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO: 3D Digital Archive of the Japanese Sword Based on Spectral Reflection Model, IASDR2009, 4pages, 2009.10.21, (Korea, COEX)
- ㉑Norihiro TANAKA, Kosuke MOCHIZUKI, Jae-Yong WOO: A Real-time Rendering Method of Art Objects Based on Multi-spectral Reflection Model, IASDR2009, 4pages, 2009.10.19, (Korea, COEX)
- ㉒田中法博, 望月宏祐, 林 一成, 合津正史, 禹 在勇: マルチバンドカメラを用いた分光ベースの反射モデル推定, 情報処理学会研究報告 CG-135, 6pages, 2009.7.13, (恵比寿ガーデンプレイスタワーSGI ホール)
(他44件)

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

ホームページ等

本研究に関連するプロジェクト一覧

①次世代3DCGプロジェクト

http://www.nagano.ac.jp/education_research/gengen-cg/index.html

②日本刀デジタルアーカイブプロジェクト

http://www.nagano.ac.jp/education_research/20081004/index.html

③デジタルコスメプロジェクト

http://www.nagano.ac.jp/education_research/digicosme/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 法博 (TANAKA NORIHIRO)

長野大学・企業情報学部・教授

研究者番号: 90387415