

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：33601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500299

研究課題名(和文)有形文化財の3DCG復元を目的とした材質劣化モデルの構築

研究課題名(英文)A construction of material degradation model for CG reconstruction of the tangible cultural properties

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、劣化した文化財のCG復元を目的とした光反射モデルと形状モデルを開発する。光反射モデルの劣化状態は分光反射率の変化として計測し、その変化を組み込むことで対象物体の劣化モデルを構築する。形状モデルは、物体の3次元形状の欠損部分の補完手法に基づいて構築される。これらのモデルに基づいて文化財を分光的にCG再現する手法を開発した。最後に提案手法を用いて、明治期の工芸作品「十二の鷹」などの文化財を対象にCG復元を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we develop light reflection model and geometric model for CG reconstruction of the tangible cultural properties. The deterioration state of an object in the model is measured as change of spectral reflectance. Then the change is implemented to the degradation model of the target object. The geometric model is developed based on complementing methods of loss of the object shape. Furthermore, we develop a multi-spectral rendering system for reproducing the tangible cultural properties. Finally, we rendered realistic images of the actual tangible cultural properties such as industrial arts work "Twelve hawks" of Meiji period.

研究分野：情報工学

キーワード：光反射モデル 分光画像計測 劣化 文化財 デジタルアーカイブ CG再現 IBL 材質推定

1. 研究開始当初の背景

近年では貴重な美術品や資料など多くの文化財が破損し失われている。このような価値ある文化財が様々な要因で、劣化・破損してしまうことは社会的に大きな問題である。このため文化財をコンピュータ上にデジタル情報として記録する「デジタルアーカイブ」の研究が盛んになっている。しかし、この研究は文化財の現状を保存することが目的であるため、既に傷んでいる文化財の元の状態を知ることはできない。そこで傷んだ文化財を元の状態に復元できる「新たなデジタル復元技術」が必要とされている。現在でも既にデジタル技術で文化財を復元する試みは広く行われているが、復元処理は目視を伴う手動作業が必要であり、その復元精度は個々の作業者の技術力や主観に依存することが多い。この問題に対して定量データに基づいた客観的かつ安定した精度で元の美術品を映像再現できるデジタル復元技術が必要となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は「光反射計測と形状計測に基づいて劣化・破損した美術品を 3DCG 映像として復元」する手法を開発することである。対象の美術品の材質は、木材、皮、染料、顔料、布、金属である。本研究期間内に次の3つの目的について明らかにする。1つ目はこれまで申請者が開発した光反射モデルを拡張して「光学特性の劣化モデル」を開発する。次に2つ目は部分的に欠損した形状情報を復元するために物体の形状計測に基づく「形状の劣化(欠損)モデル」を開発し、このモデルに基づいて形状補間を行う。ただし本研究期間では美術品の欠損部分は、傷や「小規模な欠け」等の形状の部分的な欠損を対象とし、外形が大きく変化するような大規模な形状の欠落は想定しない。3つ目は開発した光学特性の劣化モデルと形状の劣化(欠損)モデルに基づいて実際の美術品を計測し、その計測データから映像復元する。同時に計測・映像生成システムを開発する。物体は時間経過や周囲環境の影響で色や光沢(艶)等の表面特性(光学的特性)が変化するが、これが美術品の劣化として視認される。本研究ではこれらの要因を物体表面の光学特性変化(色の变化)と形状変化(欠損など)の2つに分けて劣化モデルを構築する。これら構築したモデルを用いて劣化した物体のCG再現や劣化状態のCG予測などが行えるようになる。

3. 研究の方法

(1) 光学特性の劣化モデルの試作

まず光学特性の劣化モデルの試作を行う。対象物体を光反射計測し、その表面特性に適応した光反射モデルを構築し、そこに美術品表面の劣化の状態(種類)に応じた劣化モデルを組み込む。そして現在開発中の光反射計

測装置の画像計測部においては、対象物体ごとに最適なマルチバンドフィルタを設計することで物体表面の光学特性の計測精度を向上させ、より詳細な物体表面の物理特性を計測できるようにする。

劣化状態のモデル化は、紫外線劣化加速装置を用いて実際に物体を劣化させ、その分光反射率の変化を調べる。この分光反射率の変化度合いをモデルに組み込むことで物体の劣化状態を記述できる光反射モデルを構築する。

(2) 物体の形状モデルの試作

本研究では対象の形状情報を計測してそこで欠損している情報を補完することを目指す。レーザレンジファインダや画像計測による形状計測手法を開発するとともに、局所的な形状特性から「欠損状態をモデル化」し、モデルに基づいて形状の欠落データを補間する。また、推定した形状は3Dプリンタに出力し、その物体の形状を3次元造形物として復元できるようにする。

(3) 画像計測と分光情報に基づいた対象の材質推定手法の試作

カメラから対象の材質を推定する手法を試作する。まずはカメラ画像から対象物体の分光反射率や反射特性を推定し、その推定データに基づいて物体の材質の物理的な特性を推定する。

材質だけでなく、物体の劣化状態についても対象の分光反射率の変化から予測できるようにする。

(4) 劣化物体のCG再現手法と照明環境計測

対象物体の分光反射率情報や反射特性に基づいて、精密に物体を3DCGで再現できる手法を開発する。この方法は前述した光反射モデルに基づく。対象物の物理特性は、この光反射モデルのモデルパラメータとして定量化する。

特に劣化物体を実シーンの照明環境下で精密にCG再現するために分光的なImage Based Lighting(IBL)手法を開発する。照明環境も分光的に計測することで、任意のシーン内を想定して精密な物理シミュレーションに基づいた光反射のプロセス計算によりCGを生成することができる。特に物体間の相互反射など複雑な光反射のプロセスも精密にシミュレーションできる手法を開発する。

(5) 実際の対象物を3DCGで再現

様々な物体に本手法を適用してその有用性を示す。特に反射特性が複雑な物体や文化的に重要な文化財に焦点をあてて、その計測とCG再現を試みる。

4. 研究成果

本研究では、劣化も含めた文化財の光反射モデルを構築し、そのモデルに基づいて文化

財をデジタルアーカイブし、そして CG 再現を行う手法を開発した。

光反射モデルは、物体固有の物理情報である分光情報に基づいて光反射モデルを構築した。光学特性の劣化モデル(物体表面の光学特性変化)は、いくつかの材質を対象に紫外線劣化加速器の計測データに基づいて分光ベースの光反射モデルに脱色による色度変化や反射率変化をモデルに組み込むことで構築した。図1は、本研究で開発したモデルに基づいて塗料の劣化状態を CG 再現した結果である。図2は、そのときの分光反射率の変化の例を示したグラフである。

形状モデルについては、照度差ステレオ法に基づく画像からの形状計測手法とレーザーレンジファインダを用いて対象の文化財を計測し、その計測データから形状を再現する手法の2つを開発した。

このとき本研究の成果は、対象物体の傷などによる欠損部分を補完するだけでなく、計測時にレーザー光で計測できないデータ上の欠損部分にも適用できることがわかった。

本研究の成果を実際の文化的に価値ある金工作品に適用して、その有用性を示すことができた。金工作品等の金属物体は不均質誘電体とは異なり、内部反射を持たず鏡面反射成分しか持たないためレーザー計測が難しいという問題があるが、計測データに関する曲面補間手法を開発した。

東京国立近代美術館に所蔵されている明治期の工藝作品で鈴木長吉(1848-1919)作「十二の鷹」を主たる対象とした(図3)。古い工藝作品は、その素材や工法の記録が十分に残されていないため、どのような材料がどこに使用されているか等の詳細が知られていないことが多い。この「十二の鷹」も材料や製法に関する詳細な情報が不足しているため計測が難しい対象の一つである。これは青銅の地に金、銀、赤銅、臙銀による象嵌、さらに嘴の漆の塗りがなされている金工作品である。本研究では、この「十二の鷹」の頭部の形状を3次元形状計測し、3DCGでの再現を試みた。形状計測に関して、この「十二の鷹」は特に欠損部分などは無かったが、レーザーで計測ができない部分でのデータ上の欠損が多く見られた(図4)。本研究で開発した手法により、そういった部分の欠損の補完が可能となった点は大きな成果として考えることができる。

計測画像と光反射モデルに基づいて、「十二の鷹」の表面材質や表面状態の反射特性を予測する手法を試作した。対象の光学反射特性と分光反射率を計測データから推定し、その推定値から「十二の鷹」の CG 再現を行った。このとき本研究の成果の一つである全方位の分光画像計測手法を用いて、様々な実シーンの照明環境で対象物を CG 再現できるようになった。図5は、本研究で開発した手法で十二の鷹を CG 再現した結果である。

この他にも本研究の成果は、江戸期の絹織

物のデジタルアーカイブや材質推定に応用してその有用性を示すことができた。

さらに、研究を進めていく段階で、本研究の成果は、当初の予想以上に様々な対象の材質推定に応用できることがわかった。たとえば、分光反射率解析に基づく劣化物体の状態推定手法は、人の肌の表面状態推定にも応用できることがわかった。人の肌は日焼けや血流などでメラニンやヘモグロビン量に変化するが、それによって肌の分光反射率も変化する。こういった対象の材質分析においても本研究で開発した手法は有効である。本研究の知見をさらに別の分野にも応用できることがわかったことも、大きな成果といえる。

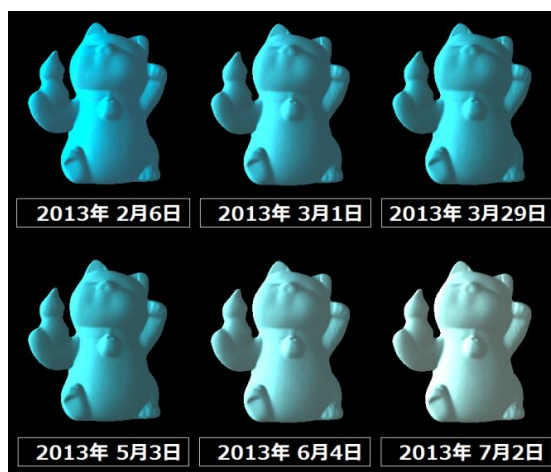


図1. 塗料の劣化状態を CG 再現した結果

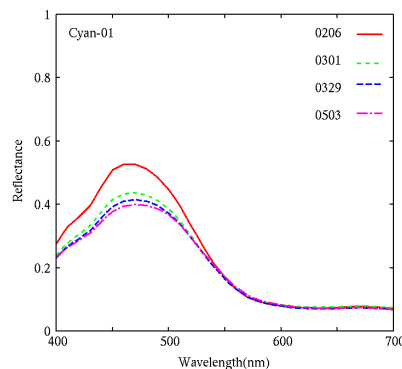


図2. 塗料の分光反射率変化の例

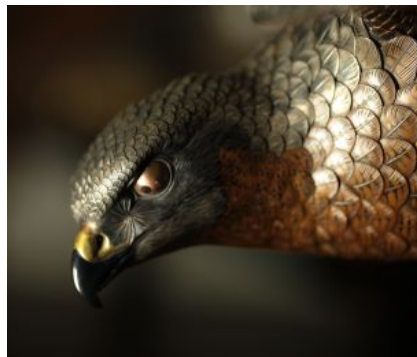


図3. 計測対象とした「十二の鷹」の一羽

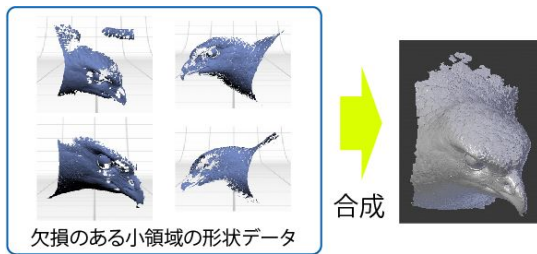


図 4 . 形状データの欠損の補完結果

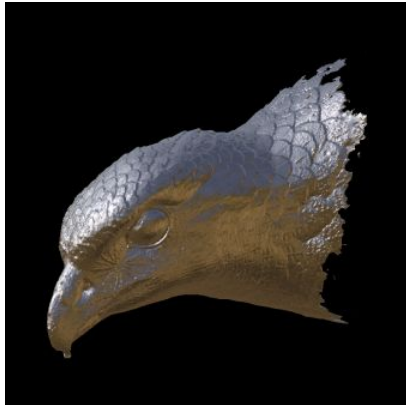


図 5 . 十二の鷹の CG 再現結果

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 7件)

1. 望月宏祐, 田中法博, 森川英明: スマートフォンを用いたデザイン材料分析のための分光反射率推定法, 日本デザイン学会誌 デザイン学研究, 査読有, Vol. 61, No.6, pp. 45-52, 2015.
2. Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro. TANAKA, Hideaki MORIKAWA and Mikihiro MIURA: Multispectral reflection measuring and rendering method for silk textiles, The Journal of Silk Science and Technology of Japan, 査読有, Vol.23, pp. 17-26, 2015.
3. 田中法博, 望月宏祐: スマートフォン用の分光ベース CG レンダリング手法, 日本デザイン学会誌 デザイン学研究, 査読有, Vol. 61, No.4, pp. 41-50, 2015.
4. 田中法博, 望月宏祐, 宮下朋也, 村田良二, 鈴木卓治: 分光情報に基づいた文化財展示システムの開発, 国立歴史民俗博物館研究報告, 査読有, 189, pp. 143-165, 2015.
5. Norihiro TANAKA and Kosuke MOCHIZUKI: A digital archive method based on multispectral imaging with goniometric multiband camera, The Bulletin of Japanese Society for the Science of Design, 査読有, Vol. 61, No.3, pp.35-44, 2014.
6. 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, pp. 466-476 2013.

7. 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, 日本デザイン学会誌 デザイン学研究, 査読有, Vol. 60, No. 1, pp. 11-20, 2013.

〔学会発表〕(計 26 件)

1. Chihiro SAKURAI, Norihiro TANAKA and Kosuke MOCHIZUKI: A Real-Time Multi-spectral CG Rendering Method for Building with Scene Illumination, International Colour Association (AIC), 2015.5.20, Sola City Conference Hall (東京都・千代田区)
2. Seungwan Hong, Norihiro Tanaka and Kosuke Mochizuki: A Spectral Reflectance Measurement System for Human Skin by Using Smartphone, International Colour Association (AIC), 2015.5.20, Sola City Conference Hall(東京都・千代田区)
3. 櫻井千寛, 田中法博, 望月宏祐, 瀧澤結貴, 山本遼太郎: 建造物のデジタルアーカイブの一手法, 日本色彩学会画像色彩研究会, 2015.3.1, 国立新美術館(東京都・港区)
4. 祢津明澄, 田中法博, 望月宏祐: 人の肌の CG 再現のためのシーン照明計測に関する一手法, 日本色彩学会画像色彩研究会, 2015.3.1, 国立新美術館(東京都・港区)
5. 祢津明澄, 田中法博, 望月宏祐: 肌の CG 再現のための照明環境計測, 日本色彩学会コスメティクスと肌・顔研究会研究発表会, 2014.10.3, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都・江東区)
6. 北澤紗英, 田中法博, 望月宏祐: 人の顔部分の光反射特性計測に関する一手法, 日本色彩学会コスメティクスと肌・顔研究会研究発表会, 2014.10.3, 産業技術総合研究所臨海副都心センター(東京都・江東区)
7. 松田 宗, 田中法博, 望月宏祐, 市川拓磨, 吉岡勇我: 実シーン照明下における劣化材質の CG 再現手法, 日本感性工学会全国大会, 2014.9.6, 中央大学後楽園キャンパス(東京都・文京区)
8. 松田宗, 田中法博, 市川拓磨, 望月宏祐, 室屋泰三, 北村仁美: 光反射モデルに基づいた工芸作品の CG 再現, 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会 第 155 回, 2014.6.28, NTT 横須賀研究開発センター(神奈川県・横須賀市)
9. 田中法博, 望月宏祐: 人の肌の反射特性計測系の試作と CG 再現への応用, 日本色彩学会全国大会, 2014.5.25, 九州大学大橋キャンパス(福岡県・福岡市)
10. 市川拓磨, 田中法博, 望月宏祐: 画像からの物体形状推定と 3D プリンタによる形状復元に関する一手法, 日本色彩学会全国大会, 2014.5.25, 九州大学大橋キャンパス(福岡県・福岡市)
11. 松田宗, 田中法博, 市川拓磨, 望月宏祐, 室屋泰三: 鈴木長吉作「十二の鷹」の 3 次

- 元形状計測と CG 再現, 日本色彩学会全国大会, 2014.5.25, 九州大学大橋キャンパス (福岡県・福岡市)
12. 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, 日本色彩学会全国大会, 2014.5.25, 九州大学大橋キャンパス (福岡県・福岡市)
 13. 市川拓磨, 田中法博, 望月宏祐: 照度差ステレオ法を用いた物体形状推定と 3D プリントによる形状再現の一手法, 日本色彩学会画像色彩研究会, 2014.3.2, 国立新美術館 (東京都・港区)
 14. 松田宗, 田中法博, 市川拓磨, 望月宏祐, 室屋泰三, 北村仁美: 鈴木長吉作「十二の鷹」の形状計測とその CG 化に向けた検討, 日本色彩学会画像色彩研究会, 2014.3.2, 国立新美術館 (東京都・港区)
 15. 松田宗, 田中法博, 市川拓磨, 吉岡勇我, 望月宏祐: 分光反射モデルに基づいた塗料の紫外線劣化の CG 再現, 計測自動制御学会中部シンポジウム 2013, 2013.9.20, 信州大学若里キャンパス (長野県・長野市)
 16. Chika IWASAKI and Norihiro TANAKA: A CG Reproduction Method of Human Skin under Omni-directional Illumination, International Association of Societies of Design Research (IASDR), 2013.8.29, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都・江東区)
 17. Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA and Hideaki MORIKAWA: Estimation of Reflection Properties of Silk Textile with Multi-band Camera, International Association of Societies of Design Research (IASDR), 2013.8.29, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都・江東区)
 18. Ryotaro YAMAMOTO and Norihiro TANAKA: A Development of Platform of 3D Visual Simulation System for Cockpit Design, International Association of Societies of Design Research (IASDR), 2013.8.29, 芝浦工業大学豊洲キャンパス (東京都・江東区)
 19. 岩崎央華, 田中法博, 望月宏祐: 人間の肌の CG 再現のための分光ベースのシーン照明計測法, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会, 2013.6.23, 産業技術総合研究所臨海副都心センター (東京都・江東区)
 20. Norihiro TANAKA, Kosuke MOCHIZUKI and Jae-Yong WOO: Imaging and Rendering of Human Skin Using an RGB Color Camera, International Colour Association (AIC), 2012.9.23, (Taipei, Taiwan)
 21. Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO, Hideaki MORIKAWA and Mikihiko MIURA: Goniometric multi-spectral imaging for digital archives using a multi-band camera, International Colour Association (AIC), 2012.9.23, (Taipei, Taiwan)
 22. Shigeyuki TOYA, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO: Estimation of Human Skin Properties using Smartphone, International Colour Association (AIC), 2012.9.23, (Taipei, Taiwan)
 23. 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, 2012.6.23, 東京塗料会館 (東京都・渋谷区)
 24. 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, 2012.6.23, 東京塗料会館 (東京都・渋谷区)
 25. Kosuke MOCHIZUKI, Norihiro TANAKA, Jae-Yong WOO, Hideaki MORIKAWA and Mikihiko MIURA: Measurement of Gonio-spectral Reflectance Using Multi-band Camera, International Conference of the Color Science Association of Japan, 2012.5.26, 京都大学吉田キャンパス (京都府・京都市)
 26. Norihiro TANAKA, Hajime ARAI, Jae-Yong WOO: Color Image Rendering of Human Skin Based on Multi-spectral Reflection Model, International Conference of the Color Science Association of Japan, 2012.5.26, 京都大学吉田キャンパス (京都府・京都市)
- [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/genen-cg/index.html
 2. 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