

氏名（本籍・生年月日）	望 月 宏 祐 （長野県・昭和61年4月8日）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲 第 624 号
学位授与の日付	平成27年3月20日
学位授与の要件	信州大学学位規程第5条第1項該当
学位論文題目	分光情報と光反射モデルに基づいた物体表面の反射特性推定と3DCG再現
論文審査委員	主査 教授 森川 英明 教授 石澤 広明 教授 乾 滋 准教授 金井 博幸 教授 寺内 文雄 （千葉大学）

論 文 内 容 の 要 旨

近年では、美術品や文化遺産のデジタルアーカイブにコンピュータグラフィックス(CG)技術が用いられるようになってきている。こういった分野では映画やゲームなどのエンターテインメント分野と異なり、色の再現精度が重要な問題となる。たとえば従来のコンピュータグラフィックス技術で、実在するさまざまな物体を映像再現しようとするディスプレイやプリンタ上の映像と実物の色に大きな違いが生じる。こういった問題を追及していくと、主に(1)反射モデルの精度、(2)RGB カラー情報に基づいた画像生成、という2つの大きな原因があることが知られてきた。

まず物体の見えは物体表面の光反射に依存する。光反射を数学的にモデル化したものが光反射モデルである。CGで物体を3次的に画像生成するためには、この光反射モデルが必要となるが、物体の再現精度はこの光反射モデルの性能に依存する。また、このモデルに与えるモデルパラメータは対象物体の個々の特性に対応するため、物体の個々の特性に応じて精密に決定しなければならない。つまり、モデルベースで対象物体を精密に画像再現するためには光反射モデルとそのモデルパラメータをどのように決定するのかに依存する。

次に、2つ目の問題としてRGB カラー情報は映像デバイスや照明環境に依存するという問題がある。たとえば、撮影するカメラや表示するディスプレイが変われば画像の色が変わる。また、照明光の種類を太陽光から白熱電球というように変更しても画像上の色は変わってしまう。

こういった色再現の問題に対して、精密な色再現のために分光情報に基づいた色再現手法が提案されるようになってきた。分光情報は電磁波の可視波長域での電力スペクトルの分布で表現される。通常、コンピュータではこれらの情報は波長に対して離散化して使用する。分光情報はRGBなどの三原色情報と比較して圧倒的に多くの情報を持つ上、さらには光源の分光分布や物体の分光反射率などの分光情報は、それぞれ物体固有の物理特性であるのでデバイスや照明光源には依存しないという利点がある。

本研究ではこういった背景に基づいて様々な光反射特性を持つ美術品を高精度に3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)で再現するためのデジタルアーカイブ手法を提案する。デジタルアーカイブとは美術品や文化財の情報をデジタルデータとして記録することである。デジタル情報は経年等で劣化することなく情報を半永久的に保存できる。美術品を記録する場合、その記録方法はデバイス依存する情報を記録するのではなく、客観的な物体固有の物理情報で記録することが望ましい。

本論文では、文化財や美術品の情報を高精度かつ客観的な情報としてデジタル記録・画像再現することを目的として、計測データと分光情報に基づく3DCGの生成手法を提案した。

本提案では、高精度な画像再現をするために光反射モデルを用いて、それに与えるモデルパラメータは光反射計測に基づいて推定する。構築する光反射モデルはデバイスや照明環境に依存しない分光情報に基づいたモデルを提案した。また、実シーンの照明情報は一般的な未校正の RGB デジタルカメラを用いて **Image Based Lighting (IBL)** に必要な全方位の光源分布を分光画像として獲得する手法を提案した。分光情報に基づくレンダリングは計算量が莫大に増えるため、提案手法を **Graphics Processing Unit(GPU)** と呼ばれるグラフィックス処理専用ハードウェアに実装する手法を提案した。また、GPU に最適化したレンダリングアルゴリズムを提案する。これらにより、GPU で分光的なマッピング画像を用いながらフルハイビジョン以上の高解像度で **3 DCG** を生成できるようになった。相互反射や多重反射を含む物体を高精度かつ高速に **3 DCG** 再現することができた。

そして本論文では実際の美術品として絹織物を対象として **3 DCG** 再現する手法を述べる。絹織物独特の光沢を記述できる光反射モデルを構築し、そのモデルパラメータを決定する計測手法を提案した。このとき色の計測精度を向上させるために通常の RGB カメラによる画像計測に加え、くし型分光透過フィルタを用いた **6** バンドマルチカメラを用いた計測系の試作と推定手法を提案した。これらにより、照明環境や見る位置によって刻一刻と変化する絹織物の姿を **3 DCG** 再現することが可能になった。

この研究成果は美術品のデジタルアーカイブだけではなく、ファッション分野などでのデザイン支援や化粧分野、工業的な利用目的のための高精度な色再現にも応用が可能である。このことから、本研究では、最後に研究成果の応用の一例として、物体固有の分光反射率をスマートフォンで撮影した画像から推定するための手法を提案した。