

AR 技術を用いた稀観資料の実物体上での美観回復

鈴木 亮 天野 敏之

名古屋工業大学工学部 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

現代の美術品の位置付けでは美観回復のための不可逆的な修復が許されないことが多い。本研究では、この問題に拡張現実感技術を応用して実世界での美術品の仮想復元を行う手法を提案する。提案手法では、あらかじめ計測した劣化のない状態のテクスチャ画像から修復のための補正画像を生成する。美観回復を行う方法として、マーカトラッキングにより稀観資料の位置検出を行い、その後液晶プロジェクタで補正画像を投影する。また、稀観資料の姿勢を検出し、phong のモデルに基づいて光沢復元を行う。サンプル画像による退色復元と光沢復元の実験結果より、補正画像を投影することにより現実世界での仮想的な退色復元と光沢復元が実現できることを確認した。

キーワード 仮想復元, AR 技術, 二色性反射モデル, phong モデル

Virtual Recovery of the Depleted Art Object based on AR Technology

Ryo SUZUKI Toshiyuki AMANO

Nagoya Institute of Technology Gokiso, Showa-ku, Nagoya, 466-8555 Japan

In positioning of the present art pieces, the irreversible restoration for beauties recovery is not allowed in many cases. In this research, we applied augmented reality technology to this problem, and the virtual restoration method of the art piece in the real world is proposed. In this proposed method, the correction image for restoration is generated from a non-damage image scanned in advance. As the method to recover the beauty, the marker tracking is used to detect art piece position and the correction image is projected from calibrated LCD projector. Moreover, the pose of art piece is detected and luster restoration is performed based on the phong model. In the experiment, the color restoration and luster restoration by a sample image were performed. From the experimental results, the ability of restoration of the discoloring and luster was confirmed in the real world imaginary by the correction image projection.

Keyword Virtual Recovery, AR Technology, Dichromatic Reflection Model, phong Model

1. はじめに

油彩画や水彩画、絵巻物、写真などの稀観資料は文化伝承のための貴重な資料であり、鑑賞により我々の暮らしに豊かさを与える重要な財産でもある。そのため、稀観資料は美術館にて室温や湿度、光量などが制御された保存に適した環境で展示されているが、作品が完成された瞬間から常に劣化が進行しており、伝承のためには専門家による定期的な修復を必要としている。17世紀頃までは、絵画などの稀観資料は礼拝の対象または調度品や嗜好品として考えられており、宗教上もしくは鑑賞上の問題を解消することを優先した美観回復のための修復を行っていた[1]。しかし、現代においては価値観の遷移により稀観資料を財宝と捉えられることが多く、第三者が作品に手を加えることを極力避け、劣化を防ぐためだけの現状維持の修復のみが施されることが多い。具体的には、修復前に予備調査として、高精細なデジタルカメラによる写真撮影以外に紫外線蛍光反応を利用した表層調査やX線、赤外線による内部状態の撮影、さらには斜光線による表面の起伏計測など様々な計測が行われ、その後、洗浄、補彩、ワニスの塗布など保存のための可逆な修復が施されている[2]。

予備調査の際に得られたデータは、稀観資料の修復方針の決定のみならずデジタルアーカイブ化[3]により仮想美術館[4]~[6]のコンテンツとしても用いることができる。さらに、デジタルデータを加工することで、デジタルデータ上で仮想的に美観回復を行うこともできる[7], [8]。このようなデジタルデータ上での仮想復元は、完成当時の劣化のない状態を見たいという鑑賞者の観賞欲を満たすことができるため有用である。しかし、仮想復元はヘッドマウントディスプレイなどで立体的に表示しても単なるCG画像に過ぎず、現実感を得ることは困難である。

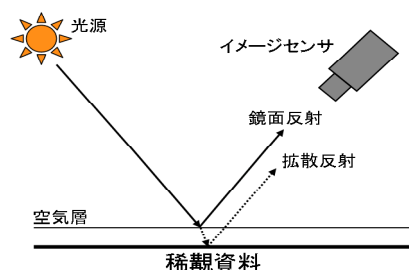


図1 二色性反射モデル

一方、近年ではカメラとプロジェクタを用いたAR技術も盛んに研究されている。Bimberら[9]はテクスチャのある壁面上に対して、カメラで撮影したテクスチャを基に投影画像を補正し、テクスチャに依存しない投影を行う技術を提案している。この技術は仮想像を投影するだけでなく、現実物体の影響を打ち消すという発想が画期的であり興味深い。本研究では、この技術を応用し、劣化した稀観資料に補正画像を投影することで劣化した稀観資料を現実世界で仮想復元する手法を提案する。

2. 稀観資料の実世界上における仮想復元

2.1. 二色性反射モデルによる劣化モデル

油彩画や水彩画、絵巻物あるいは写真などの稀観資料は室温や湿度、光量などを厳重に制御された環境であっても、大気やさまざまな光線にさらされる以上、色味を失ったり顔料がひび割れて剥落したり、ワニスやゼラチン層等の保護膜が劣化したりすることにより劣化が生じる。本研究では、稀観資料の光学的な特性を図1に示す二色性反射モデルで表現することを考え、顔料や色素の退色や剥落、あるいは染みなどを拡散反射成分の変化、油彩画のワニスや印画紙のゼラチン層の劣化を鏡面反射成分の変化として表現できるものとして劣化をモデル化する。また、二色性反射モデルに基づき光学的な補正を行う照明を求め、実世

界上での光学的な仮想復元手法を考える.

本研究では, ワニスやゼラチン層などの保護膜と空気層の間の境界で反射する成分を二色性反射モデルの反射スペクトル特性

$$Y(\theta, \lambda) = c_s(\theta)L_s(\lambda) + c_D(\theta)L_D(\lambda) \quad (1)$$

の鏡面反射項 S , 透明な保護膜を通過して顔料や染料などによる色素層に入射して色素粒子との間で散乱を起こす反射を拡散反射項 D で表現するものとする. ただし λ は波長, θ は入射光の方向, 反射面の法線方向などを含む角度パラメータ, $L_s(\lambda)$ と $L_D(\lambda)$ は反射輝度のスペクトル分布, $c_s(\theta)$ と $c_D(\theta)$ は角度パラメータにおけるスケールファクタである.

2.2. 退色復元

退色復元を行うにあたり, 稀観資料上のある一点の劣化によるスペクトル特性の変化に着目する.

稀観資料に照射される照明光のスペクトル分布を $I(\lambda)$, 反射スペクトル特性を $Y(\theta, \lambda)$ とすると, 鑑賞者の網膜上の L, M, S 錐体で得られる三刺激値 l, m, s は

$$l = \int R(\lambda)Y(\theta, \lambda)I(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

$$m = \int G(\lambda)Y(\theta, \lambda)I(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

$$s = \int B(\lambda)Y(\theta, \lambda)I(\lambda)d\lambda \quad (4)$$

と表すことができる. ただし, $R(\lambda), G(\lambda), B(\lambda)$ は L, M, S 錐体の分光感度特性である. 退色復元では, 退色した状態の稀観資料に補正光を投影することにより鑑賞者が知覚する三刺激値 l, m, s が退色前と同じ強度となるようにすることを考える. 退色は顔料や染料の変質や劣化により発生するため, 二色性反射モデルの拡散反射項の変化として考えられる. そのため, 拡散反射光のみに着目して補正光を求めれば良い. 三刺激値 l, m, s の特性は同様の数式で表すことができる.

以下の説明では I 刺激値のみ記述する.

完成されたばかりの絵画の拡散反射成分の反射スペクトル特性を $c_D(\theta)L_D(\lambda)$, 絵画を照らす環境光のスペクトル特性を $I(\lambda)$ とすると, 刺激値は

$$\begin{aligned} l_{d0} &= \int R(\lambda)c_D(\theta)L_D(\lambda)I(\lambda)d\lambda \\ &= c_D(\theta) \int R(\lambda)L_D(\lambda)I(\lambda)d\lambda \end{aligned} \quad (5)$$

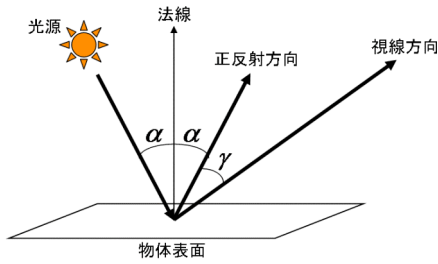
となる. また, 劣化した状態での絵画の拡散反射成分のスペクトル特性を $\hat{c}_D(\theta)\hat{L}_D(\lambda)$, 補正光のスペクトル特性を $\hat{I}(\lambda)$ とする. ただし, 本研究では劣化による顔料の退色では角度パラメータにおけるスケールファクタは変化せず, スペクトル分布のみ変化することを仮定する. すなわち, 劣化では顔料の色味は変化するが, 角度変化に対する反射特性は変化しないものとする. また, 仮想復元において照明光の位置は鑑賞環境と同じであることを仮定すると, 退色後に知覚される刺激は

$$l_d = c_D(\theta) \int R(\lambda)\hat{L}_D(\lambda)\hat{I}(\lambda)d\lambda \quad (6)$$

と表すことができる. 退色復元は式(5)と式(6)が等しくなるように補正照明光を変化させれば実現できる. よって, 補正照明光のスペクトル特性は

$$\hat{I}(\lambda) = \frac{L_D(\lambda)}{\hat{L}_D(\lambda)} I(\lambda) \quad (7)$$

であればよい. つまり絵画の退色が生じている箇所では鑑賞環境における照明光のスペクトル特性を $\hat{I}(\lambda)$ として照射すれば稀観資料を実世界上で仮想的に退色復元できることがわかる. しかし, 任意の分光特性を稀観資料の微小区分ごとにスペクトル特性を任意に変化させる光源を実現することは困難である. そこで本研究では汎用プロジェクタの RGB 三原色を合成し



$$I = I_i W(\alpha) \cos^n(\gamma)$$

図2 phong のモデル

て近似的に補正光を生成する。ただし、劣化後の角度パラメータにおけるスケールファクタを劣化前と同一としており、本研究ではプロジェクタの位置を想定する観賞環境における照明光源の位置と同じ位置に配置する。また、補正画像を投影する際にプロジェクタと稀観資料上の座標との幾何学的な射影パラメータをあらかじめ求めておく必要がある。この幾何学的なキャリブレーションについては第3章で説明する。

2.3. 光沢復元

油彩画や写真などの光沢を持つ保護膜を有する稀観資料は、劣化により光沢が失われる。光沢は稀観資料の質感を与える重要な特徴であり、仮想的な美観回復を実現する上で重要である。本研究では、稀観資料の光沢を二色性反射モデルの鏡面反射項で表すものとする。また、鏡面反射成分を図2に示すPhongのモデルと仮定して光沢復元を行う。

劣化がなくワニスなどの保護膜により光沢が存在する状況を考える。光沢を有する状態を鑑賞者が見た際に知覚される刺激値は二色性反射モデルより

$$l_0 = \int R(\lambda) c_s(\theta) L_s(\lambda) I(\lambda) d\lambda + \int R(\lambda) c_D(\theta) L_D(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

と表すことができる。このとき、ワニスなどの保護膜

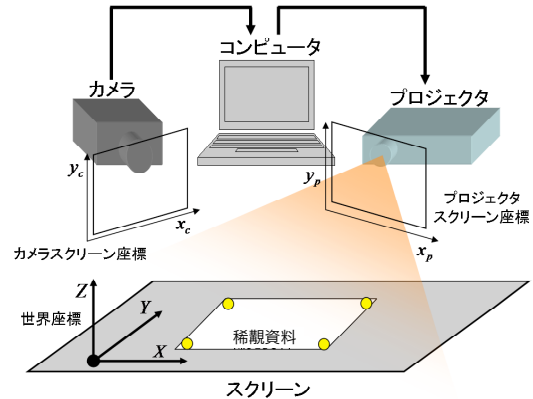


図3 仮想復元システム

で着色を伴う鏡面反射をしないとすれば、定数 α を用いて鏡面反射項は、

$$C_s(\theta) L_s(\lambda) = \alpha C_s(\theta) \quad (9)$$

と記述できる。つまり、知覚される刺激は

$$l_0 = \alpha \int R(\lambda) c_s(\theta) I(\lambda) d\lambda + \int R(\lambda) c_D(\theta) L_D(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

と表される。次に、劣化により光沢が失われた状態を考える。光沢が完全に失われた状態では鏡面反射項を消去できるため、鑑賞者が知覚する刺激値は

$$l_s = \int R(\lambda) c_D(\theta) L_D(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (11)$$

と表すことができる。ただし、劣化した状態で照射されている照明光は劣化前と同様の照明光が照射されているものとする。光沢復元では、 $I(\lambda)$ で示される照明光に加えて補正光 $I_p(\theta, \lambda)$ も同位置から照射し、劣化前の状態で知覚される刺激と同様の刺激が得られるようにすることを考える。つまり、光沢復元は

$$l_p = \int R(\lambda) c_D(\theta) L_D(\lambda) (I(\lambda) + I_p(\theta, \lambda)) d\lambda \quad (12)$$

が式(10)で示される劣化前の刺激値と等しくなる補正光 $I_p(\theta, \lambda)$ を照射することにより実現する. 従ってプロジェクタから投影する補正光は

$$I_p(\theta, \lambda) = \frac{\alpha c_s(\theta) I(\lambda)}{c_D(\theta) L_D(\lambda)} \quad (13)$$

とすればよい. また鏡面反射の再現に phong のモデルを用いるとすれば, 補正光は

$$I_p(\theta, \lambda) = \frac{\alpha \cos^n(\gamma)}{C_D(\theta) L_D(\lambda)} I(\lambda) \quad (14)$$

となる. ただし, γ は照明光の正反射方向と観測方向とのなす角である. つまり, 劣化により光沢が失われた稀観資料表面で光沢を再現するためには, まず光源と稀観資料表面の法線ベクトルの関係から拡散反射による光量の減少を補正し, 拡散反射成分で物体色による着色の補色により無色化を行う. これに加え Phong のモデルにより鏡面反射による輝度分布を再現すれば良い. しかし, 厳密に鏡面反射を再現することは困難であり, 本研究の範疇では扱わないものとする. そこで, 本研究では鏡面反射成分を近似的に

$$I_p(\theta, \lambda) = \alpha' \cos^n(\gamma) I(\lambda) \quad (15)$$

として再現することとする. この近似では, 観賞による稀観資料の姿勢変化は少なく, 照明光源の方向ベクトルと稀観資料の法線ベクトルのなす角度がほぼ一定であることを想定している. また拡散反射による着色についても考慮しないことを意味する. そのため完全な鏡面反射を再現することはできないが, 照射する光量が強ければ鏡面反射による効果を疑似的に再現することが期待できる.

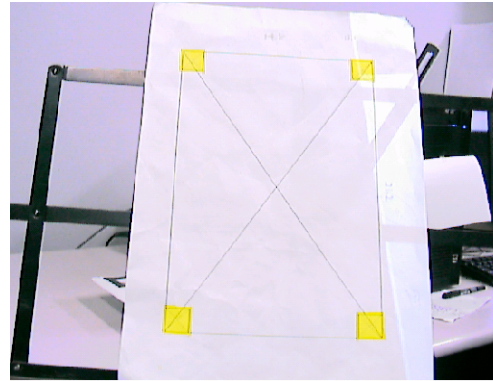


図 4 キャリブレーションターゲット

3. キャリブレーションと補正画像投影

実環境において退色復元や光沢復元を行うためには, 稀観資料の位置・姿勢に応じて補正光パターンを生成し投影を行う必要がある. そのため, 本研究では図 3 に示すカメラとプロジェクタを用いたシステムを構築し, キャリブレーションにより得られた射影関係を用いて補正画像を生成して投影する. 本章ではシステム概要とキャリブレーション方法について説明する.

3.1. カメラプロジェクタ系のキャリブレーション

仮想復元システムで用いるカメラおよびプロジェクタの座標系と世界座標系を図 3 に示すように定義する. このとき, ピンホールカメラモデルを用いると記述すると画像上の座標 (x_c, y_c) と世界座標の関係は

$$h_c \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{pmatrix} = C \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

と記述できる. ただし, C は 3×4 の行列 (カメラパラメータ) であり, 一般的なキャリブレーション手法であらかじめ求めておく. また, プロジェクタのスクリーン座標と世界座標系の関係は同様に

$$h_c \begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ 1 \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (17)$$

で表現することができる。ただし、 P は 3×4 の行列（プロジェクタパラメータ）である。プロジェクタパラメータを求める方法としては、まずプロジェクタのスクリーン座標 (x_p, y_p) よりドットを投影する。その後、図4に示すターゲットを動かし、プロジェクタから投影されたドットが中心に投影される様に移動する。このような状態においてターゲットの四隅に付けられたマーカの三次元座標を求めることで中心の世界座標 (X, Y, Z) を求める。以上よりプロジェクタスクリーン座標 (x_p, y_p) と世界座標 (X, Y, Z) 得られ、複数の対応（最低6点）を求めることでプロジェクタパラメータ P を算出する。ただし、ターゲット上に付けられたマーカの三次元位置は不定性のため画像上の座標 (x_c, y_c) からそのまま求めることはできない。そこで、本研究では加藤らが開発したARツールキット[10]を応用し、ターゲットの四隅に付けたマーカの位置を既知とすることにより単一カメラからマーカの三次元位置を求めた。また、ターゲットに付けられたマーカの画像上の投影点は色情情報によるトラッキングを行うことにより求めた。

3.2. トラッキングおよび描画領域算出

仮想復元を実現するためには稀観資料上に投影すべき補正画像を生成する必要がある。そのためには、まず稀観資料の三次元位置を検出する必要がある。位置検出の方法としては、稀観資料の四隅にマーカを付け、前節で説明した手法と同様にARツールキットを用いてマーカの三次元位置を検出した。その後、プロジェクタパラメータにより補正画像を描画すべきプロジェクタスクリーン座標上の領域を求める。

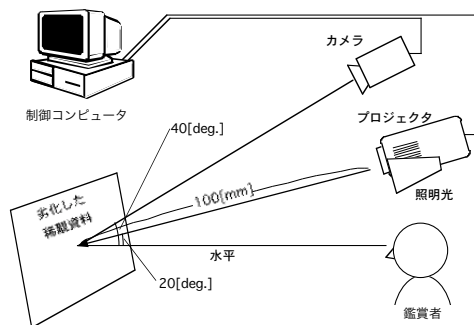


図5 実験環境

3.3. 補正画像投影

退色復元では、あらかじめ2.2節の方法に基づいて生成した補正画像をアフィン変換により対応するプロジェクタスクリーン座標上の領域に描画する。光沢復元では、マーカの三次元位置から稀観資料表面上の法線方向を求め、照明光と鑑賞者の位置関係より2.3節の方法により補正画像を生成する。そして、これらの処理とトラッキングをフレーム毎に繰り返すことにより移動する稀観資料に対しても仮想的な美観回復を実現する。

4. 実験結果

実験では、図5に示すように鑑賞者が稀観資料正面から水平に観察する状況を想定し、単一点光源の照明（ハロゲンランプ 60W）が仰角 20[deg.]で稀観資料から 1[m]程度離れた位置から照射されている状況を設定した。本研究では、退色復元と光沢復元において補正光は想定する観賞環境での照明光と同一の位置から照射することを仮定しているため、プロジェクタ（Canon LV-7210）は可能な限り照明光と隣接されれば同一の仰角および距離から照射されるように設置した。また、稀観資料の位置および姿勢を推定するために用いるカメラ（Sony DFW-VL500）はプロジェクタの上方仰角 40[deg.]程度の位置に配置した。この環境において、稀観資料の周辺に付加したマーカを検出し、

AR ツールキットによるトラッキングと補正画像投影により実世界上での仮想的な美観回復を行った。

実験に行うにあたり、まず第3章に示した手法によりカメラ-プロジェクタ系のキャリブレーションを行い、その後、第2章で示した方法により退色復元と光沢復元を行った。

4.1. 退色復元

退色復元は、前処理として稀観資料の退色前と後で計測された反射スペクトル特性分布データを計測する。その後、稀観資料の部分毎に2.2節で示した式により補正光のスペクトルを求める。さらにプロジェクタのRGBフィルタ特性より補正光のスペクトルを近似するR,G,B値求め補正画像を生成する。このようにして得られた補正画像を稀観資料に重なるようにプロジェクタから補正画像を投影すればよい。しかし、本研究では稀観資料の退色前と後のスペクトルデータを入手することが困難であったため、厳密な色彩復元は行わないものとして、サンプル画像による簡易的な色彩復元実験を行った。

退色復元実験で用いた画像と実験結果を図6に示す。実験では、図6(a)のカラー画像を退色の無い状態とし、退色した状態を図6(b)とした。なお、退色した状態はCYMKで印刷されている原画像の色彩成分であるCYMチャンネルを除去してKチャンネルのみで印刷し生成した。CYMKとRGBの関係は一般的に

$$\begin{cases} r = 1 - \min(1, c \times (1 - k) + k) \\ g = 1 - \min(1, m \times (1 - k) + k) \\ b = 1 - \min(1, y \times (1 - k) + k) \end{cases} \quad (18)$$

で示すことができる。ただし、 r, g, b および c, y, m, k はRGBおよびCYMK色空間での各要素の強度である。また、プロジェクタで照射されるスペクトル特性は

$$I_p(\lambda) = rR(\lambda) + gG(\lambda) + bB(\lambda) \quad (19)$$

で表すことができる。ただし、 $R(\lambda), G(\lambda), B(\lambda)$ はそれぞれプロジェクタの三原色のスペクトル特性である。従って、式(19)および式(20)より、CYMKで表現された画像はプロジェクタにより

$$\begin{aligned} I_p(\lambda) &= (1 - k)(1 - \min(1, c))R(\lambda) \\ &+ (1 - k)(1 - \min(1, m))G(\lambda) \\ &+ (1 - k)(1 - \min(1, y))B(\lambda) \end{aligned} \quad (20)$$

で示されるスペクトル特性で投影される。劣化した稀観資料の反射特性 $\hat{L}_D(\lambda)$ を全波長成分が均一に反射し、物体色を持たないと仮定すれば、式(7)で示される補正照明光のスペクトル特性は式(20)を $(1 - k)$ で除算した画像を生成すれば良い。そこで、実験では原画像のKチャンネルの値を0として図6(c)の補正画像を生成した。このパターンを暗照明下で退色したサンプル上に投影したところ、図6(d)のように復元された。また、本実験ではプロジェクタの厳密なスペクトル計測やRGBフィルタ特性を考慮していないため、退色復元された結果を見ると色味が完全に一致していない。しかし、マーカトラッキングにより稀観資料の対応する位置に補正画像が投影されており、色彩を失ったサンプルに対して仮想的に色彩復元ができることを確認した。

4.2. 光沢復元

光沢復元では、実験サンプルとして画像をA4サイズの光沢紙と無光沢紙に印刷したものを用意し、それぞれ劣化が無い状態と劣化により光沢が失われた状態に見立てて光沢復元を行った。実験では、無光沢紙に印刷された劣化サンプルをカメラで撮影し、マーカトラッキングにより稀観資料の法線方向を計算した。その後、稀観資料の法線方向と予め設定した光源方向と視線方向(図5)を式(15)に代入し、プロジェクタから補正光を投影することにより光沢を復元した。光沢



(a) 原画像



(b) 劣化画像



(c) 補正画像



(d) 仮想復元結果

図6 退色復元結果



(a) 原画像



(b) 仮想復元結果

図7 光沢復元結果

復元の実験結果の評価方法としては、図5の観賞環境でハロゲンライトを照射し、光沢紙のサンプルの様子を鑑賞者の視線で撮影した(図7(a))。その後、この設定に加えプロジェクタによる補正光の投影を無光沢紙のサンプルに対して行った様子を撮影した(図7(b))。ただし、ハロゲンランプの光量はプロジェクタで投影される補正光とのバランスがとれるように経験的に光量を絞った。復元結果を見ると、鏡面反射の色味や広がり具合が異なっているが、図7(a)と同様の反射分布が再現されていることがわかる。しかし、実環境の照明として用いたハロゲンランプと比較してプロジェクタの光量が不足していたため、図7(a)のような鋭い鏡面反射を再現することはできなかった。

5. 考察

5.1. 曲面形状稀観資料への拡張

退色復元では、反射スペクトル特性をあらかじめ用意することができなかったため、図6の実験結果では完全な色味の再現は行うことができなかった、しかし、補正画像投影については、マーカを用いることにより稀観資料の対応する位置に投影されており、実空間に

おける仮想復元の手法を確立することができている。本手法では、稀観資料の形状を平面物体と仮定しているためプロジェクタスクリーンにアフィン変換により補正画像を描画すればよい。開いた状態の本や巻き癖のついた絵巻物などのような曲面物体の場合、物体形状による投影パターンの歪みを考慮する必要がある。このような場合にはあらかじめ稀観資料の形状を計測しておき、CGにて形状モデルに補正画像をマッピングして投影画像を生成すれば良い。この補正画像の生成にはOpenGLなどの汎用のグラフィックライブラリを用いることも可能である。この曲面形状の稀観資料への拡張については今後の課題としたい。

5.2. 光沢復元の反射光量について

光沢復元の実験では、実験結果を見ると実際の写真と同様の鏡面反射分布が得られ、質感を再現することができたが、ハロゲンランプと同等の反射強度を再現することができなかった。この理由としては、補正画像を投影したプロジェクタの光量が不十分であったためである。この問題を解決する方法として、より明るいプロジェクタを用いることが考えられるが現実的な解決方法ではない。なぜならば、鏡面反射光は光

源から照射された光が鏡面により反射し、鑑賞者に直接届いている光である。そのため、光量は光源から観測者に光が届く経路の長さの二乗に反比例して減衰している。これに対して、拡散反射面で鏡面反射を再現した場合は、光源から稀観資料までで距離の二乗に反比例して減衰し、さらに稀観資料の一点から拡散反射するため、二度二乗に反比例して減衰した光が鑑賞者に届く。そのため、現実の鏡面反射と同等の明るさを拡散反射面で仮想的に再現することが困難であるだけでなく、十分な光量を投影できるプロジェクタを用意できても稀観資料を痛める恐れがあり望ましくない。そのため、実際の光量を再現するのではなく、人間の視覚特性について考察を行い、疑似的に現実感を作り出す手法についても考慮する必要がある。この問題の解決については今後の課題としたい。

6. まとめ

本論文では、カメラとプロジェクタを用いた AR 技術により稀観資料を実世界上で仮想復元する手法を提案した。本研究で提案した AR 技術を用いた仮想復元は、鑑賞者が要望する美術品本来の姿の観賞を現実世界で実現することができ、美観回復を目的とする美術品修復が行うことが許されない現代において有用である。実験では、サンプルとして白黒印刷した画像と、無光沢紙に印刷した画像を用い、退色復元と光沢復元の結果を示した。退色復元では完全な色彩復元ができなかったが、補正画像を投影することにより現実世界での仮想的な退色復元を実現できることを示した。また、光沢復元ではプロジェクタの光量の問題はあるが、光沢を復元することで質感を再現することができた。完全な色彩復元と鏡面反射光量の問題については今後の課題とする。

参考文献

- [1] G. Perusini, "Il restauro dei dipinti e delle sculture lignee", Del Bianco Editore, 1985.
- [2] Ray Smith 著, 佐伯雄一訳, "油絵用具と基礎知識", 美術出版社, 1998.
- [3] デジタルアーカイブ推進協議会, "デジタルアーカイブ白書 2001", トランスアート, 2001.
- [4] 西野嘉章, "超精細画像データベースによる美術研究", 鹿島美術財団年報, No. 14 (別冊), pp.577-579, 1997.
- [5] 村田克之, 土井美和子, 森健一, "東芝電子仮想美術館", テレビ学会誌, Vol. 50, No. 12, pp. 1988, 1996.
- [6] 大倉隆司, 野口達毅, 尾崎圭司, 矢野米雄, "観点の共有により観賞を支援する 3 次元仮想美術館の構築", 信学技報 ET2000, Vol. 138, pp. 187-194, 2001.
- [7] 東京芸術大学美術館協力会, "よみがえる日本画 - 伝統と継承・1000 年の知恵 -", 2001.
- [8] 吉田英一郎, 天野敏之, 佐藤幸男, "風化により劣化した絵画のデジタルメディア上での復元", 2002 情報科学技術フォーラム講演論文集, pp. 125-126, 2002.
- [9] Bimber O., Emmerling A. and Klemmer T., "Embedded Entertainment with Smart Projectors", IEEE Computer (cover feature), pp. 56-63, January 2005.
- [10] 加藤博一, Mark Billinghurst, 浅野浩一, 橋啓八郎, "マーカー追跡に基づく拡張超現実間システムとそのキャリブレーション", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 4, 1999.



鈴木 亮

平 18 名古屋工業大学システムマネジメント工学科卒。現在、名古屋工業大学大学院情報工学専攻在学。電子情報通信学会員



天野 敏之

平 12 阪大大学院博士後期課程了。同年、名古屋工業大学電気情報工学科助手。距離画像計測応用、固有空間法を用いた画像処理等に従事。博士(工学)。平 12 年度電子情報通信学会学術奨励賞、PRMU 主催 MIRU2006 インタラクティブセッション優秀賞受賞、芸術科学会、電子情報通信学会各会員