

# I-63 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 Restoration on the digital media of the degradation pictures by weathering

吉田 英一郎†      天野 敏之†      佐藤 幸男†  
Eiichiro Yoshida    Toshiyuki Amano    Yukio Sato

## 1. まえがき

絵画は完成した瞬間から劣化が始まるため定期的な修復が重要となる。修復の際はオリジナルの部分を大切にすることが、時には過去の修復の不都合な部分を除去する場合があります。その結果修復後の印象が異なってしまうこともある。そこで事前に周到な計画を立て、記録をとることが重要となっている。現在このようなニーズに応える新たな手法として絵画のデジタル化や仮想修復が注目されている[1]。

本研究では実際の油絵を対象に、剥落の仮想修復を考慮したデジタル化を行い、画像処理の観点から仮想修復を行った。また、仮想修復の精度向上を試行した。

## 2. 絵画の劣化問題

絵画には亀裂・剥落といった物理的破損以外にも、変色、カビ・シミ、虫害、人為ミスなど様々な劣化の種類がある。劣化要因に応じて劣化過程は大きく異なるため、各々の劣化要因に特化したデジタル化・仮想修復を行うのが望ましいと考えられる。

今回は風化により劣化の顕著な実際の油絵を用い、美観を著しく損なっている剥落を対象とした。

## 3. 剥落箇所の抽出

### 3.1 油絵の2層形状モデル

油絵は主に紙、板、キャンパスなどの基底層とその上に重ね塗りする絵の具の顔料層の2層から構成されると仮定する。剥落は湿度や温度の急激な変化が生じた際2層間の収縮率の違いなどで発生する。このとき、基底層はほぼ平面を成すが、顔料層は浮きや剥落が発生している(図1)。

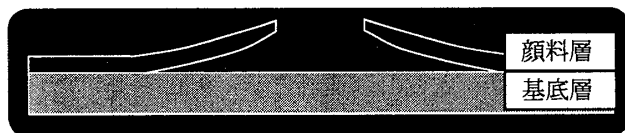


図1 絵画の2層形状モデル(剥落箇所)

### 3.1 剥落形状のデジタル化

このような剥落劣化に対して、保存や公開のみを目的とした従来の絵画のアーカイブ化では、輝度のデジタル化のみ行われるため、剥落箇所が作者が描いた図柄なのか物理的な破損によって生じた箇所かの判別は困難である。

しかし、剥落箇所周辺では顔料層自体の厚みや、顔料層の浮きで1mm程度の凹凸が存在する。そこで、凹凸の3次元形状をデジタル化することが剥落抽出を行う上で有効と考え、本研究では輝度データの他にレンジファインダ(ミノルタ製, VIVID700)を用いて形状データを取得した。

†名古屋工業大学工学部電気情報工学科, Nagoya Institute of Technology

### 3.2 顔料層曲面の生成

理想的には絵画表面はほぼ平面を成しているが、実際には劣化により反りなどの歪みが生じている。そのためレンジファインダで得られた形状データを以下に示すようにLMedSを用いて近似する。

形状データ上の各計測点をサンプルとして、サンプル点群に最もフィットする低次曲面を算出する。次に曲面とデータとの距離を測り、曲面から遠い点群を剥落箇所と考慮して除外し、再度間引き済みサンプルに最もフィットする曲面を算出する。このようにして繰り返し曲面を構成することにより、絵画の顔料層に最もフィットした曲面が得られる。曲面では剥落箇所のサンプルは除外されているため、顔料層の近似曲面となっている。よって剥落箇所は曲面との差異で容易に分離できると考えられる。

### 3.3 奥行き距離の二峰性による剥落の抽出

顔料層に最もフィットした曲面を基準曲面と考え、形状計測により得られている元のサンプル点群と曲面との距離を絵画の奥行き距離として算出する。このとき、非剥落箇所では顔料層が存在するため微妙な凹凸はあっても奥行き距離はほぼ一点を中心に集中する。逆に剥落部では顔料層が存在せず、基底層が露出しているため、奥行き距離が大きくなる。よって算出された奥行き距離のヒストグラムをとると剥落の影響でピークが二つ存在する(図2)。そこで、剥落による奥行き距離の二峰性から、奥行き距離の分散を元に自動で閾値を決定することにより、剥落部位を抽出する。

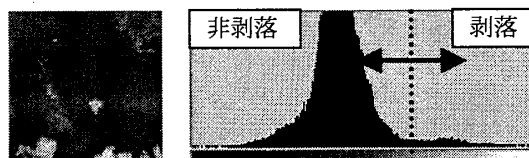


図2 可視化された奥行き距離とそのヒストグラム

### 3.4 剥落抽出結果

以上の手法により実際に絵画のデジタル化と剥落部位の抽出を行い、剥落箇所を分離した輝度データを以下に示す(図3)。



図3 輝度データ(左), 形状データから剥落を抽出した結果(中), 剥落を分離した輝度データ(右)

## 4. 剥落部位の復元

### 4.1 復元における問題点

剥落部は顔料層のデータが失われているため、剥落部の非剥落状態は正確にはわからない。そこで何らかの知識を元に剥落部に最適なデータを類推する必要がある。ここで絵画の特徴をあげると、作者によって画風が異なる上同じ作者の絵であっても各々異なるという点があるため、一般的な復元ルール生成は困難である。

しかし、一枚の絵画内では同様な表現手法が用いられていると考えられるため、一枚の絵画全体から復元箇所の画像を類推する手法を用いることとする。

本研究では画像の局所自己相関性に基づく欠損推定手法として固有空間法を用いた BPLP による画像補間[2]を用いて剥落画像の復元を行った。

### 4.2 固有空間法を用いた BPLP による画像補間

BPLP による補間法は、画像の局所自己相関性に基づき、一枚の対象画像から複数の小領域を切り出し、小領域の画像群を訓練パターンとして固有空間を構築する。ここで欠損を含む画像ベクトルは固有空間上の一点に投影される。同様に欠損を含まない画像ベクトルも固有空間上の一点に投影される。このとき、画像空間では欠損・非欠損ベクトル間は双方向変換できないが、固有空間上では逆射影関係に基づき欠損・非欠損投影点間は近似的に双方向変換できる。そこで欠損ベクトルを固有空間に投影、逆射影近似、固有ベクトルの一次結合により欠損を補間する画像ベクトルを得ることができる。

### 4.3 復元結果

図 3 において剥落箇所を分離した画像を対象に絵画の仮想修復を行った。結果を以下に示す (図 4)。

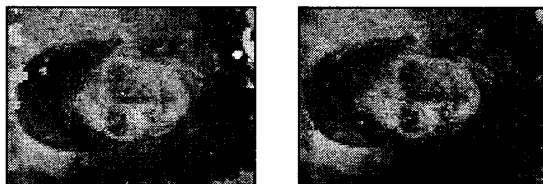


図 4 元画像 (左), 剥落を補間した画像 (右)

## 5. 復元結果の考察

### 5.1 局所相関性の向上

復元された画像は、図 4 に示した通り縮小するとほとんど違和感なく復元されているのがわかるが、補間が行われた領域に対して拡大処理を施すと非補間領域との違和感が目立つ。そこで、絵画画像における剥落補間の質感を向上させる方法として井添らが提案した FID[3]で用いられている訓練パターンの選別を適用した。

従来の BPLP では画像全域から切り出した学習サンプルを用いて固有空間を生成していた。これを入力画像の非欠損領域との類似度が高い学習サンプルのみを用いて固有空間を生成することにより、対象欠損を復元するのに特化した固有空間を生成できる。

### 5.2 雑音付与による質感の向上

BPLP, kernel FID など、欠損ベクトルの補間手法では一般的に近似誤差が発生する。これは射影空間を用いた線形一次結合によって画像を再構成しているため、主に射影空

間の表現能力不足、一次結合時の打ち切りなどで発生する。

このように近似を用いる手法では、当然欠損領域に対して近似的な値しか得られない。これはパターン集合の圧縮や雑音除去を目的としている場合は良いが、欠損の補間という目的に対しては情報が欠落していると考えられる。

そこで近似によって失われた雑音成分を付与することにより近似限界画像の質感向上を試行した。

通常欠損を含む入力画像は欠損・非欠損の二つの領域に分けられる。近似復元手法では欠損・非欠損両方の近似復元画像が得られるが、従来は近似復元画像のうち欠損領域をそのまま入力画像の補間としていた。本手法では、入力画像の非剥落領域において、真の画像と近似復元された画像の残差は近似しきれなかった情報量であると仮定し、この残差を雑音成分として剥落領域に適用する (図 5)。

今回は雑音付与の実装を、剥落領域における各画素と類似した非剥落領域の画素を探索し、探索結果対応が取れた画素には同様な残差を付与することとした。この結果、線形一次近似結合で生成した復元画像に対し、非線形な変換を施すことになり、簡易な手法ながら近似復元画像では表現できなかった複雑なテクスチャを生成できることを確認した (図 6)。

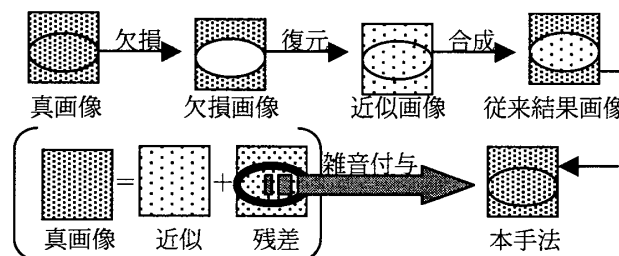


図 5 雑音付与の概要



図 6 欠損画像 (左), 復元画像 (中), 雑音付与画像 (右): 各画像はコントラスト強調済み

## 6. むすび

実際の絵画を対象に劣化を考慮したデジタル化と仮想復元を行った。また、復元画像に対し質感向上を試行した。

今後は更なる質感向上のため、絵画の質感評価法の検討を行う必要がある。

謝辞 資料の提供、研究に対する示唆を頂いた歌田真介元東京芸大文化財保存学教授 (現早稲田大客員教授), ならびに米倉乙世元同大学助手に心から感謝致します。また、本研究は堀情報科学振興財団研究助成金の援助を受けた。

### 参考文献

- [1] 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.
- [2] 天野, 佐藤, “固有空間法を用いた BPLP による画像補間,” 信学論(D-II), vol.J85-D-II, pp457-467, Mar, 2002
- [3] 井添, 剣持, 小谷, “画像のフラクタル性に基づいたカーネル主成分分析による遮へい領域の原画像推定,” 信学技報, PRMU, pp.55-62, Oct. 2001.