

## 高精細画像入力システムの開発と質感強調の検討

NEC ヒューマンメディア研究所  
神谷 俊之

古文書、布などを対象に高精細なデジタル画像を入力するためのシステムの開発を行っている。本システムでは、美術館、博物館などに所蔵される収蔵品の高精細なデジタル画像を取得して、デジタルコンテンツとして流通させることを目的としている。システムは高精細のデジタルカメラ、照明などからなる入力装置と制御用のPCから構成される。本システムでは古文書など比較的平面的な対象を入力対象として、1000dpi以上の解像度で対象を分割入力することが可能である。

また、古文書、布などをデジタル化して保存、展示する場合には、実物の持つ「質感」を画面、印刷物上でどのように再現するかが問題となる。「質感」の要素の一つとして、対象表面の微妙な凹凸による陰影があると考え、入力画像の質感の強調する手法の一つとして、光源の角度を変えて撮影した複数の画像から陰影の強調を行う手法について実験を行った。

## A development of high resolution digital image input system and a study of surface topography emphasis method

Toshiyuki Kamiya

Human Media Research Laboratories, NEC Corporation

We have developed a high resolution digital image input system to digitize objects in museums such as old manuscripts or clothes. Our goal is the distribution of the digital image of pictures or documents archived in museums taken by the system. The system consists a digital camera, lighting equipment and a PC to control the system.

The objects digitized by the system are mainly planar object such as old manuscript, and the system can digitize the object over 1000 dpi by dividing the scanning area.

In digitization of paper of clothes, it is a difficult problem to reproduce the appearance of the real object on CRT or print. We thought the roughness of the surface of the object is a factor of the appearance, and made several experience to emphasize the subtle shadow of the object from images taken in different lighting condition.

## 1. はじめに

近年、貴重書と呼ばれるような古文書の類や、美術品のデジタルアーカイブに関する研究・開発が盛んになってきている[1-4]。

我々は、従来から既存文書デジタル化による保存、蓄積に関して検討・試作を行ってきた。本稿では博物館、美術館コンテンツのデジタル化の利点と、求められる品質について検討し、「既存コンテンツを簡単に入力できるシステム」というコンセプトの対象を美術品や古文書などのコンテンツ入力へ広げ、高精細なデジタル画像入力システムの開発を行っている。また、貴重書、美術品などのコンテンツを表示する際には、本物の入力対象が持つ「質感」をどれだけ画像として再現できるかという問題を解決する必要がある。

以下では、試作した高精細画像入力システムについて説明し、紙や布などの表面の質感の強調を強調して入力する手法の検討について述べる。

### 1.1. デジタル化の利点

古文書、絵画などのデジタル画像の主な用途は、大きく2つに分けられる。一方は、美術館や博物館などでの、高精細な画像の保存、展示への利用、またもう一方はそれほど高品位を必要としない WWW や新聞、雑誌などの媒体での利用である。

美術館、博物館などでの高精細デジタル画像の利用には以下のようなメリットがある。

#### (1) 展示機能・情報発信機能の強化

例えば美術館の収蔵品をデジタル画像で入力し、鑑賞に堪えるだけの複製を低コストで作成することができれば、より多くの収蔵品を「展示」することができる。さらに、保存上の問題などから一般に公開することができない作品や、海外にある他の博物館の収蔵品展示を行うことも可能となる。

#### (2) 学術調査機能の強化

絵画などで保存状態の悪いものでは表面が汚れていたり、変色、傷などが生じている場合がある。絵画をデジタル画像として入力し、経年変化による変色を推測したり、傷で欠落した部分を推測して補修することで、オリジナルに近い画像を再現することができる。また、非常に精密なカラーの画像を保存蓄積す

ることで、収蔵品の色の経年変化や他館への貸し出し前後での状態のチェックへの利用も可能である。

また、WWW、出版などでの利用では、従来の写真に比べ(1)コンテンツの保管場所をとらない、ネットワークを介して様々な場所で利用できる。(2)編集、加工、補正が容易である。(3)検索を容易に行えるようにすることが可能であるなどの利点が挙げられる。

### 1.2. デジタル入力の品質と問題点

デジタルデータでは高精細なデータから精度を落とすことは比較的容易であるため、ここでは学術研究用に高精細なデータを入力する場合を中心にデジタル画像に求められる品質について検討を行った。

#### (1) 解像度

観察者の目と対象との距離が 25cm 程度の場合、通常の人が画像のドットを識別できる限界値は 500dpi 程度といわれており、美術品などを詳細に拡大して見る用途には少なくともこれより高解像度が必要である。実際、印刷に関しては、現在一般的なプリンタでも 600dpi 以上の解像度が表現でき、業務用では 1000dpi 以上の精細な印刷が可能であるため、対象を実物大に印刷することを想定すれば 1000dpi 程度以上の画像が必要である。但し、高解像度画像は画像サイズが大きく、表示、転送に非常に時間がかかるため、用途によって、任意の解像度を自在に撮影できることが効果的である。

#### (2) 色再現性

現在のデジタル画像入力において一般に撮像に用いられるデバイス (CCD 素子) のダイナミックレンジは、標準的なデバイスで 54dB 程度であり、これを各画素について RGB 各 8 ビット (256 階調)、計 24 ビットで表現されている。一方、従来の写真では入力ダイナミックレンジが約 80dB といわれ、これをほぼ無限階調で再現している。さらに、デジタル画像の場合には照度が低い場合に、素子のノイズの影響が大きくなるなどの問題点がある。

これらに対して、できるだけ実物の色を

正確に再現するため、カメラ系、照明系の特性を考慮したカラーマネージメント(色補正)の処理を行う必要がある。

### (3)付加的情報

デジタル化入力されたコンテンツに対する付加的情報はいくつかのレベルに分けることができる。第一に対象物そのものの物理状態レベルを記述、例えば形状、サイズ、しみ、傷などに関する情報である。第二にその対象の意味レベルの記述、例えば作品名、技法、作者、他の作品との関連など、そして、第三にデジタル化した時の条件に関する記述、例えば撮影の解像度、照明条件、関連するデジタルコンテンツなどの情報をレベル毎に適切に付与する必要がある。

### (4)保存フォーマット

保存フォーマットについては、主として、技術的側面(技術的制約)から決定されている場合が多い。例えば、デジタルカメラの解像度、スキャナ解像度、モニター解像度、画像フォーマットなどである。但し、研究資料として古文書、絵画などを保存する場合には、

- ・可逆な圧縮が求められる場合が多い。
  - ・用途に応じて複数の解像度のデータが利用される。
  - ・様々な大きさ、形状の対象を記録できること
- などの条件を満たすことが望ましい。

## 2. 高精細画像入力システムの試作

以上に述べたような検討に基づいて高精細な画像の入力・保存を行うためのシステムの開発を行っている。

### 2.1.システム構成

システムの外観写真を図 1 に示す。右側が試作した高精細画像入力システムであり、左側は入力した画像を表示するための超高精細モニターである。

試作システムでは、古文書や絵画など通常のフラットベッドスキャナーでは、入力が難しい対象を、一定の品質で容易に高精細デジタル画像として入力できるようにすることを目標としている。そのため、照明の明るさ、カメラと対象の位置関係、カメラのフォーカス、絞りなどの設定を計算機から制御し、設定の保存、再利用を可能とした。

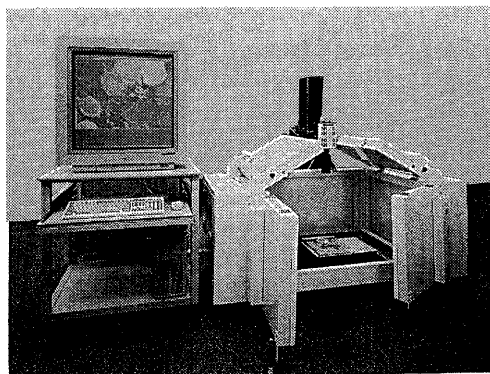


図 1 システム全体構成

#### (1) ハードウェア

試作した入力装置は A4 サイズ程度まで(最大 A3 サイズ)の、主として古文書などの比較的平面的な対象を撮影することを想定している。ハードウェアの構成図を図 2 に示す。システムは、入力装置と、制御用のパソコンから構成される。入力装置は、カメラ(カメラヘッド+ズームレンズ)、照明、ステージからなり、照明の明るさ、ステージ位置、カメラ高さ、レンズの絞り、ズーム、フォーカスの制御、カメラシャッターをパソコンから制御することが可能である。各部の詳細については表 1 に示す。

カメラ本体(Kontron 社製 Progres3012)	最高 4,490x3,480pixel、RGB 各 12bit で静止画像を撮影する。PC には専用ボードを経由して画像を転送する。PC に入力されるデジタル画像の他、撮影範囲確認用の NTSC 信号も出力可能。
照明制御	対象物体の側面 4 方向、及び、上面からの面光源(高周波電源+蛍光灯)により均等な光量配置と、十分な光量(最大 750W)を確保する。光源数、光量を調節することが可能。
レンズ制御	絞り、フォーカス、ズームを制御可能な電動ズームレンズを PC から D/A コンバータを介して制御する。
ステージ制御	文献、標本入力用 XY ステージをモータ駆動する。移動精度は 0.2mm。最大 A3 サイズ程度(840x600mm)まで撮影可能である。カメラ本体は上下移動架台に設置され、Z 軸方向(上下方向)に移動する。

表 1 ハードウェア詳細

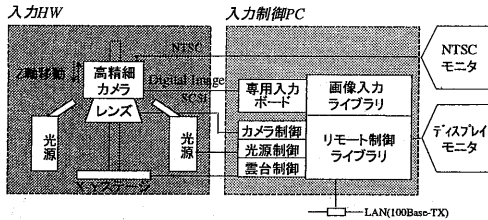


図2 ハードウェア構成

(2) ソフトウェア  
 入力ソフトの構成を図2に示す。ソフトウェアは照明・ステージ・レンズ制御用及びカメラ入力制御用のライブラリと画像表示や各種パラメータの設定を行うUI部分からなる。

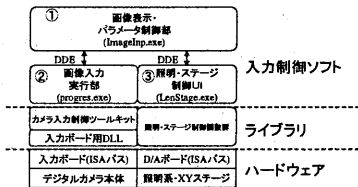


図3 ソフトウェア構成

画像入力を実行する際には基本的に以下のよう  
 な手順で行う。(1)入力対象をステージ上  
 に置く。(2)NTSC 出力のモニター、画像表示  
 ウィンドウの表示を見ながら、ステージ位置、  
 レンズ設定などを調節する。(露出、フォー  
 カス合わせを補助するために、表示している  
 画像中の露出オーバー領域の表示、フォーカ  
 スの指標となる鮮鋭度数値の表示などの補助  
 的な機能を備えている。) (3)画像の入力、保  
 存を行う。

・入力画像の補正

入力画像をできるだけ実物らしくデジタル化  
 するために、入力画像を補正する機能をいく  
 つか組み込んでいる。(a)明るさ補正：照明  
 の不均一やレンズの周辺減光などによる明る  
 さの違いを補正するため、あらかじめ均一な  
 白色の対象を入力し、明るさ補正を行う。(b)  
 色補正：同様に RGB 値が既知であるカラー  
 チャートを読み込むことで色補正を行う。(c)  
 レベル補正：入力画像の白、黒のレベル補正  
 を行う。(d)ガンマ補正：入力画像のガンマ  
 補正を行う。

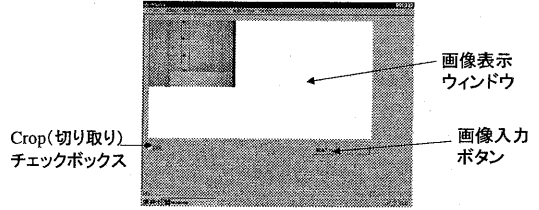


図4 画像入力 UI

・表示系との連動

画像表示用の超高精細モニターを用いて、  
 画像の拡大、スクロール表示などを行う画  
 像表示ソフトを別途開発している。画像入  
 力ソフトと画像表示ソフトを連動させ、入  
 力した画像を自動的に超高精細ディスプレ  
 イに表示することができる。

・自動入力

画像入力ソフトでは、基本的に入力作業を利用  
 者が対話的に行うことを想定している。しか  
 し、高い解像度で入力対象全体を部分領域  
 に分割して順に入力する場合やカメラ、レン  
 ズの設定をいくつか変えて複数回入力した  
 い場合など、単調な繰り返し作業となる場合  
 がある。このような処理を自動化するために、  
 各種の設定変更や入力の実行、ファイルへの  
 保存などの操作をスクリプトとして記述して、  
 自動的に実行する機能を組み込んでいる。ま  
 た、入力対象を部分領域に分けて入力する  
 場合については、入力対象の全体を表示した  
 画像中で範囲指定をすることで自動的に複数  
 の領域に分割し入力、保存を行う機能を組み  
 込んでいる。

・分割入力画像の合成

入力対象を非常に高い解像度で入力した場合、  
 一回の入力領域は数 cm 四方程度になり、入  
 力対象の全体像を知るためには、それぞれの  
 部分を分割入力して合成(モザイク処理)を行  
 う必要がある。本システムでモザイク処理を  
 行うためにはステージ位置を XY 方向に順次  
 動かして、それぞれの画像の上下左右が一部  
 重なるようにタイル上に画像を入力する。入  
 力した部分画像の合成処理では、それぞれの  
 部分画像同士で対応する部分を判定する必要  
 があるが、画像の保存の際に、画像データ自  
 体と併せて、入力時のステージ位置やズーム  
 などのパラメータもファイルに保存している  
 ため、このパラメータを用いることによって

探索領域を限定し、重なる部分の残差が最小となる位置を決定することでモザイク処理の計算量を削減する処理を行っている。

### 3. 紙、布の質感強調

古文書、美術品を本物らしいデジタル画像とするには、単に高精細、高解像度、あるいは一画素あたりのビット数が多いといったことだけでは十分ではない。例えば、布や紙、金属、あるいは皮膚などを高解像度の画像として撮影したとしても、実際に対象を手にとってみる場合と何か異なっているという印象を受ける。この差の部分ここでは「質感」と呼ぶ。「質感」がどのような要素からなるのか全て明らかにすることは難しいが、例えば、金属の質感は光源に対して向きを変えたときの、表面のハイライト部分の移動などによって感じることができる。また、布や紙の質感は表面の模様、ざらざら感、布のしわによる陰影などによって得られる。紙、布などの表面の微小な陰影を取得する手法の一つとして、光源の角度を変えて撮影した複数画像を用いる手法がある[7]。以下では本手法を用いて実際に紙、布などの画像からの陰影情報取得のテストを行った。さらにこの手法を用いて得られた画像を利用して、新たに、元の画像の紙の表面の凹凸感を強調する手法の検討を行った。

#### 3.1. 複数光源による画像入力

以下の説明では図5のように紙の平均表面からの凹凸の高さを  $h(x)$ 、各点の照明の照度を  $I(x)$  とする。また、対象の各点での反射率を  $R(x)$  とする。

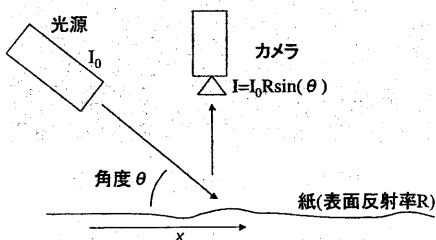


図5 光源とカメラの位置関係

以下では、まず、各点の高さと、カメラに入力される照度との関連を示す光源からの照明の明るさを  $I_0$  とし、紙の表面の反射率が入射

角度のみによって決まり、反射角度には関わらず一定であるとする。この場合、カメラに入力される照度は光源と入力対象のなす各  $\theta$  のみによって決まり、

$$I = I_0 R \sin(\theta) \cdots (1)$$

と記述できる。

紙の微小な凹凸を平均化した平均表面と、実際の表面のなす角を  $\alpha(x)$  とすると、

$$\frac{d[h(x)]}{dx} = \tan[\alpha(x)] \cdots (2)$$

対象への入射光の明るさ、反射率も場所によって異なることを考慮すれば、(1)式はそれぞれ、 $x$  を変数として、

$$I = I_0(x) R(x) \sin[\theta(x)] \cdots (3)$$

$\theta(x) = \theta_0 + \alpha(x)$  で  $\theta_0$  は平均表面と光源とのなす角度である。

ここで、表面の凹凸が、表面に落とす影の影響を排除するためには  $\theta_0$  は  $\alpha(x)$  よりも大きいものとする。

#### 照明の不均一の除去

まず、照明の不均一を除くため、平坦かつ均一な反射特性をもつ対象を同じ位置で参照用として入力する。対象画像を  $I_1$ 、参照画像を  $I_2$  とするとそれぞれ、

$$I_1(x) = I_0(x) R_1(x) \sin[\theta(x)] \cdots (4)$$

$$I_2(x) = I_0(x) R_2 \sin[\theta_2] \cdots (5)$$

$I_2$  を用いて各画素の値を、照明の不均一による明るさ変化について正規化すれば、照明の要素を定数化して、以下のように書くことができる。

$$I(x) = I_0 R_1(x) \sin[\theta(x)] \cdots (6)$$

#### 表面反射と表面形状の分離

(6)式から表面の反射率と、表面の凹凸の項を分離することを考える。そのためには、まず、同一設定で照明の角度を変えて2枚の画像を撮影する。

$$I_1(x) = I_0 R_1(x) \sin[\theta_{01} + \alpha(x)] \cdots (7)$$

$$I_2(x) = I_0 R_1(x) \sin[\theta_{02} + \alpha(x)] \cdots (8)$$

$\alpha$  が  $\theta_{02}$  に比べて十分に小さく、かつ  $\theta_{01}$  に比べて無視できない大きさであるように  $\theta_{01}$ 、 $\theta_{02}$  を選べば、 $\sin[\theta_{02} + \alpha(x)]$  を  $\sin \theta_{02}$  と近似して定数とみなすことができ、この二つの式の比をとることによって、

$R(x)$ の項を除くことができる。

$$I(x) = I_0 R \sin[\theta_{01} + \alpha(x)] \cdots (9)$$

(9)式は生成された画像の位置による変化が、表面の微小な角度の変化にのみよることを示している。

### 3.2. 画像強調結果

照明位置を変えて入力した画像による微小凹凸による陰影強調について確かめるためにいくつかの素材について、実際に画像を入力してテストを行った。画像の入力は高精細画像入力システムのデジタルカメラにて3072x2030のサイズで行った。古文書、布、絵画についてそれぞれ、高精細画像入力システムの光源(蛍光灯)で左右、正面均一に照明した場合の画像(以下では通常照明画像と呼ぶ)、および平面光源で水平面に対して20度程度の角度で照明した場合の画像(以下では斜め照明画像と呼ぶ)を撮影した。なお、いずれの場合でも、室内の照明は通常の照明の状態での撮影した。

#### 1. 古文書表紙

通常照明画像を図6に示す。ただし、以下で図に示したのは、いずれの画像も実際の画像よりも解像度を落とした画像である。処理は元の画像から640x480の大きさに切り出した一部のみについて行った。また、白黒濃淡画像に変換を行い、カラーの情報については無視している。今回のテストでは、照明の明るさは処理範囲でほぼ均一であったため、文献中の照明の不均一の除去処理については省略した。以下の画像例では前節の式(7)の $I_1(x)$ が斜め照明画像、式(8)の $I_2(x)$ が通常照明画像に相当することになる。また、式(9)に相当するのが微小陰影の抽出処理結果の画像である。

基本的には、この二つの画像の比をとることによって、光源による変動分のみを得ることになる。実際には、8bitの濃淡画像そのまま処理するとほとんどの値が1または0となるため、それぞれの画像を32bit浮動小数点に変換して計算し、結果を128倍してから再び8bit濃淡画像に戻すという処理を行っている。通常照明画像から切り出した範囲を図7に、図7の画像及びこれと対応する斜め照明画像の部分画像を用いて処理した結果を図8に示す。なお、今回のテストでは、対象としている範囲が狭いため、照明の不均一

除去の処理については省略している。また、図8では得られた結果を紙面で見やすいようレベル調整処理を行っている。



図6 通常照明画像(古文書表紙)

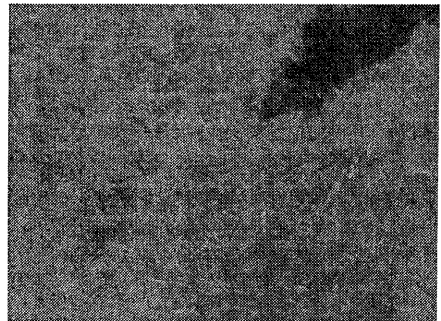


図7 図6の一部を切り抜いた画像



図8 図7の領域を処理した結果

図8を見ると図7の右上にある字の部分を含めて、濃淡成分が除かれ、凹凸感が比較的良好に得られていることがわかる。

#### 2. 古文書

入力した古文書の画像を図9、また、その中から切り出した部分の画像を図10に示す。

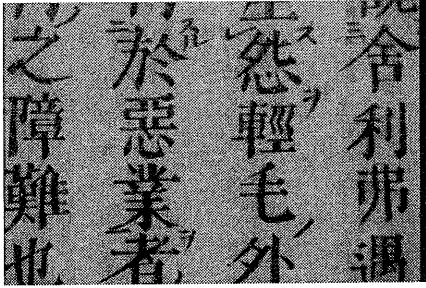


図 9 通常照明画像(古文書)

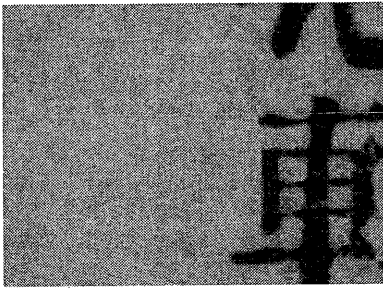


図 10 図 9 の一部を切り出した画像

図 10 の領域に対して、古文書表紙の場合と同様の微小陰影抽出処理を行った結果を図 11 に示す。

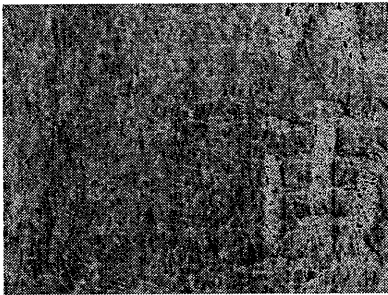


図 11 図 10 の領域を処理した結果

古文書表紙の場合に比べて、テクスチャが細かく、判別は難しいが、オリジナルの画像と比べると細かな紙の繊維が確認できる。字の部分に関しては、うっすらと確認することができるが、この原因としては、角度によって光源が異なることなど各種の理由が考えられるが、字の部分が元の繊維を押しつぶしたような感じで、実際に微妙に凹凸差があるというのが最も大きな原因として考えられる。

### 3.3.陰影の強調

以下では、前節で得られた通常照明画像と斜め照明画像から微小凹凸による陰影を抽出した画像(以下では陰影抽出画像と呼ぶ)を用いて、元の画像の微小凹凸による陰影を強調する手法について考える。基本的には、陰影抽出画像は画像のうち、表面凹凸の成分だけを現しているものと考えられるため、オリジナルの通常照明画像に、加えることで表面凹凸による陰影を強調できるはずである。但し、単純に二つの画像を加算すると画像の全体の明るさが変化する。そのため、重畳する陰影抽出画像の平均の明るさが 0 になるように処理を行った後、通常照明画像に加えるという処理を行うことによって、全体的な明るさを変化させずに陰影を強調することが可能となると考えられる。

以下でのテストは古文書の表紙画像に対して行った。図 8 の画像の(レベル補正前の)ヒストグラムは図 12 のように 140 付近を平均値とする正規分布状の分布をしている。これを平均値が 0 となるように各画素値をシフトすることによって、陰影抽出画像において平均値より大きい値を持つ画素の部分はより明るく、逆に平均値より小さい値を持つ画素を持つ部分をより暗くなるように通常照明画像の各画素の値を変化させることになる。実際の処理は、以下のように行う。

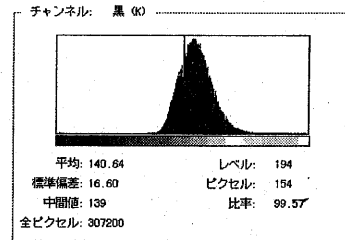


図 12 陰影抽出画像のヒストグラム

まず、陰影抽出の処理の場合と同様にまず陰影抽出画像を 32bit 浮動小数点に変換して、画像全体の画素値の平均値が 0 になるように各画素の値をシフトする。得られた画素値に適切な係数  $p$  を掛けて、通常照明画像に加える。

係数  $p$  として、0.3、0.5、0.8 とした場合の画像を図 13、14、15 に示す。



図 13 微小陰影強調画像 ( $p=0.3$ )



図 14 微小陰影強調画像 ( $p=0.5$ )



図 15 微小陰影強調画像 ( $p=0.8$ )

図 13~15 を比較すると係数  $p$  を大きくするにつれて表面の凹凸が視覚的に強調されている。係数  $p$  を調整することによって、強調の度合いを調整することが可能であることがわかる。

#### 4. まとめ

本研究では、博物館や美術館に収蔵される古文書などを対象としたデジタル入力システムの開発について述べた。現在までに、基本的な入力支援の部分は開発を完了し、誰でもが

特別な知識なしに高精細な画像を作成する環境を整備することができた。しかし、美術品などの高精細なアーカイブという観点からは正確な色再現の問題など画像入力の問題や、大量のデータを保存、蓄積し、容易に安全に流通させるシステムの問題など残された課題も多い。

また、「質感」という曖昧な言葉によって表現される実物を見たときに受ける印象を再現する手法としては、今回行った表面の陰影の強調のほか、人の視覚特性による画像の強調や、ダイナミックレンジの拡大など様々な手法による、よりリアルな画像の再現に関する研究を行っていく必要がある。

今後、現在のシステムを実際に博物館、美術館などに保存されている古文書に適用し、より使いやすいシステムへの改良を進めていく予定である。

#### 参考文献

- [1] 鈴木 他、特集「人文・芸術系のデータベース—今そしてこれから—」、情報処理、Vol. 38、No. 5、1997
- [2] 樫村、斎藤、恩田、楊、小沢、「稀覯書のデジタルアーカイビングに於ける画像処理技術の応用」、信学技報、PRMU97-77、pp.41-48、1997
- [3] ラアニエ,C.、エトカン,G.、オベール,M.、「NARCISSE:絵画研究のための高精細画像の利用」、情報管理、Vol.40、No.1、pp38-53、1997
- [4] 柴田、箕浦、片岡、宮下、「北京版チベット大蔵経の高再現性デジタル画像化：写真撮影過程」、情処研報、Vol.98、No.97、pp.73-80、1998
- [5] 神谷、大門、國枝、「超高精細デジタルアーカイブシステム「高品位ファクトリ—コンセプト—」、情報処理学会第 55 回全国大会、6Q-7、1997
- [6] 大門、神谷、國枝、「超高精細デジタルアーカイブシステム「高品位ファクトリ—入力システム—」、情報処理学会第 55 回全国大会、6Q-8、1997
- [7] J.S. Arney, D. Stewart, "Surface Topography of Paper from Image Analysis of Reflectance Images", Journal of Image Science and Technology, Vol. 37, No.5, pp. 504-509, 1993