

画像処理技術の学術資料への応用

篠原 功 治*

The application of the technology of image processing to the materials for study
Koji SHINOHARA

In this report, the image restoration which was a part of digital image processing was understood and the technology of image processing was applied to contents which were materials for study of museum. The earthenware as antiquarian materials, which were excavated at a site of Ehime prefecture and were displayed in Ehime prefectural history and folklore museum, were restored on two-dimensional image and on the basis of appraisal. An application to a rubbed copy was set an example, too.

はじめに

近年におけるデジタル技術の進歩により、マルチメディアの急速な発展は、留まるところを知らない。中でも、二次元画像は、より有効な視覚的情報であり、情報社会に必要な要素となっている。また、画像処理技術においても、ソフトウェアの普及により比較的身近な技術となっている。

本稿では、デジタル画像処理の一部である画像復元について理解を深め、画像処理技術を博物館の学術資料というコンテンツへ応用したので報告する。考古資料として愛媛県の遺跡から出土し、愛媛県立歴史民俗資料館で展示されている土製品を二次元画像上で評価に基づき復元した。拓本への応用例も示した。

デジタル画像処理

1 デジタル画像について

(1) 画像情報の表現方法

波長に対する光の強度分布を光のスペクトルといい、光のスペクトルによって色が表される。人間が知覚する色は、赤、緑、青の三原色の混合によって表される。このため、画像は、スペクトルそのものを必要とせず、スペクトルの特徴を表す赤、緑、青の三原色の信号によって表現することができる。画像入力時における画像は、光情報であり、連続である。デジタル画像処理を行うには、このような情報を画像としてとらえて電気信号に変換し、これをデジタル化する必要がある。画像のデジタル化とは、画像を $M \times N$ 点の配列に標準化 (Sampling)

することであり、このとき、区切られた点を画素 (Pixel) と呼ぶ。また、濃度値も K 個の離散的レベル量子化 (Quantization) することである (鳥脇, 1993)

(2) フーリエ交換とたたみ込み

一般に時間的に変化する信号は、いろいろな周波数の波の集まりとして表される。どの周波数成分がどのくらい含まれているかを示すものが周波数スペクトル (Frequency spectrum) である。信号 $g(t)$ の周波数スペクトルを $G(f)$ とすると、 $g(t)$ と $G(f)$ の間には、

$$G(f) = \int g(t) \exp(-j2\pi ft) dt \quad (1.2.1)$$

$$g(t) = \int G(f) \exp(j2\pi ft) df \quad (1.2.2)$$

の関係が成り立つ。式 (1.2.1) がフーリエ変換 (Fourier transform)、式 (1.2.2) がフーリエ逆変換 (Inverse fourier transform) である。 $G(f)$ は、 $g(t)$ に含まれる周波数 f の波の大きさを表す。空間において x の関数として表された一次元信号 $g(x)$ についてもフーリエ変換、フーリエ逆変換を式 (1.2.1)、(1.2.2) と同様に定義することができる。 f に相当するものを ξ とすれば、

$$G(\xi) = \int g(x) \exp(-j2\pi \xi x) dx \quad (1.2.3)$$

$$g(x) = \int G(\xi) \exp(j2\pi \xi x) d\xi \quad (1.2.4)$$

となる。このとき、 ξ は、単位長さあたりの波の数を表しており、空間周波数 (Spatial Frequency) という。二次元画像信号を $g(x, y)$ とすれば、次式が成り立つ。

$$G(\xi, \eta) = \iint g(x, y) \exp\{-j2\pi(\xi x + \eta y)\} dx dy \quad (1.2.5)$$

$$g(x, y) = \iint G(\xi, \eta) \exp\{j2\pi(\xi x + \eta y)\} d\xi d\eta \quad (1.2.6)$$

ここで、 ξ, η を x 軸方向 y 軸方向の空間周波数という

*愛媛県総合科学博物館 学芸課 科学技術研究科

Dept. of Science and Technology Ehime Pref. Science Museum

(画像電子学会, 1993). これらの二次元フーリエ交換は, たたみ込み (Convolution) へと用いられ画像処理において有用である.

2つの関数 $f(x, y)$, $h(x, y)$ のたたみ込み $g(x, y)$ は, 次のように定義される.

$$g(x, y) = \iint h(x-u, y-v) f(u, v) du dv \quad (1.2.7)$$

このとき $f(x, y)$, $h(x, y)$, $g(x, y)$ のフーリエ交換を $F(\xi, \eta)$, $H(\xi, \eta)$, $G(\xi, \eta)$ とすると

$$G(\xi, \eta) = H(\xi, \eta) F(\xi, \eta) \quad (1.2.8)$$

で表される. 空間領域 (x, y) でのたたみ込みは, 周波数領域 (ξ, η) においては, 乗算へと変換される. ここで, 両辺を $H(\xi, \eta)$ で除すれば,

$$F(\xi, \eta) = \frac{G(\xi, \eta)}{H(\xi, \eta)} \quad (1.2.9)$$

となり, $F(\xi, \eta)$ をフーリエ逆変換し, $f(x, y)$ を求めることができる.

(3) 画像劣化モデル

一般に画像劣化モデルは,

$$g(x, y) = \iint h(x, y, u, v) f(u, v) du dv + n(x, y) \quad (1.3.1)$$

とすることができる. $f(x, y)$ は原画像, $g(x, y)$ は劣化画像, $n(x, y)$ は雑音である. $h(x, y, u, v)$ は, 劣化関数と呼ばれ, 雑音がないとき, $h(u, v) = \delta(u-u', v-v')$ の点光源に対する劣化画像は, (x, y, u', v') であり, 一般に理想画像上の点 (u, v) への独立な点拡がり関数 (Point spread function) である. ここで, 式 (1.3.1) において, 点拡がり関数は, 光学的であるため, $h(x-u, y-v)$ となり, 次式となる.

$$g(x, y) = \iint h(x-u, y-v) f(u, v) du dv + n(x, y) \quad (1.3.2)$$

ここで, 雑音 $n(x, y)$ を考慮に入れなければ, 式 (1.2.7) のたたみ込みをフーリエ変換し, 式 (1.2.8), (1.2.9) を得る. また, 式 (1.2.9) の $1/H(\xi, \eta)$ を逆フィルタ (Inverse filtering) と呼ぶ (高木・下田, 1995). ここで, 雑音を任意とし, フーリエ変換を行い, 逆フィルタしたものとの差を求めれば,

$$F(\xi, \eta) = \frac{G(\xi, \eta)}{H(\xi, \eta)} - \frac{N(\xi, \eta)}{H(\xi, \eta)} \quad (1.3.3)$$

となる (長尾, 1990). 式 (1.3.3) をフーリエ逆変換すれば, 原画像 $f(x, y)$ が求まる.

2 画像復元について

(1) 画像復元

画像復元とは, 劣化した画像から, できるだけ元の画像に近い画像を推定することである. 画像復元に対し, 画像強調とよばれる手法がある. 両者とも, 画像改善のために用いられている. しかし, 前者は, あくまでも原画像をできるだけ忠実に復元することを目標としており, これに対して, 後者は, 利用目的に応じて濃度変換などを用いて, 人間にとってみやすい画像を作成することを目標としている. したがって, 画像強調では, 処理画像が原画像に忠実に似ている必要はない. ところで, この画像復元の最適化基準として, 次の二つのものが考えられる, 第一の基準は, 画像成分の復元のよさであり, 第二の基準は, 雑音抑制である (高木・下田, 1995). 式 (1.3.3) において両辺をフーリエ逆変換すれば原画像 $f(x, y)$ が求まる. しかし, 点拡がり関数 $h(x-u, y-v)$, 雑音 $n(x, y)$ は, 測定データに基づく必要があり, この二つの評価基準をどのように実現するかによって, 今まで, ウィーナフィルタ (Wiener filter), パラメトリックウィーナフィルタ (Parametric Wiener filter), 一般逆フィルタ (Inverse filter), 制限付最小二乗フィルタ (Constrained least squares filter), 射影フィルタなど, いくつかの復元方法が提案されている. その中でウィーナフィルタ, パラメトリックウィーナフィルタ, 一般逆フィルタ, 制限付最小二乗フィルタ, を古典的な復元フィルタと呼ぶことができる. これらは, 画像の集合に対して平均的な意味での最良近似画像を復元するだけで, 個々の原画像つまり画素そのものに対しては, 何の保証もない. さらに, 個々の画像に対して最良近似画像を復元する射影フィルタにおいても, 雑音抑制に問題がある.

(2) 本稿における画像復元

これらの画像復元は, 理論上における復元であり, 実用的であるというには少し疑問が残る. そこで, 本稿では, 画像強調の各手法を活用し, 画像復元を次のように定義する. 被写体の現在の像を原画像 $f(x, y)$ とすれば, 平均二乗誤差は,

$$e^2 = \min \| f(x, y) - \hat{f}(x, y) \|^2 \quad (2.2.1)$$

と表すことができ (川崎・飯島, 1997), $\hat{f}(x, y)$ は, $f(x, y)$ の最小二乗推定 (Least squares estimate) と呼ばれる. この $\hat{f}(x, y)$ と $f(x, y)$ の誤差が最小となるような最良近似画像を求めることが復元画像を求めることとなる. 本稿では, 雑音を考慮に入れず, $\hat{f}(x, y)$ を被写体の過去の像つまり復元画像とすれば,

$$\| \hat{f}(x, y) \| = \| f(x, y) \| + \| \alpha(x, y) \| \quad (2.2.2)$$

の関係が成り立ち画像復元モデルとする (Fig. 1). $\alpha(x, y)$ は, 時間・空間的に失われた像である. ここで, 時間・空間的に失われた像 $\alpha(x, y)$ は, 離散的な画像であるため次式で表すことができる.

$$\alpha(x, y) = \iint_{\alpha} \alpha_0(x_0, y_0) dx dy + \iint_{\alpha} \alpha_1(x_1, y_1) dx dy + \dots + \iint_{\alpha} \alpha_n(x_n, y_n) dx dy \quad (2.2.3)$$

n は任意であり, 復元された割合を復元率とするならば, n と復元率は比例する.

3 画像処理ソフトウェアについて

(1) 画像処理とコンピュータグラフィックス

コンピュータで図形, 画像を扱う情報処理技術は, 画像処理とコンピュータグラフィックス (以下, CG と略す) に大別できる. この両者は, 概念的にも実用的にも独立して発達してきた分野である. コンピュータ内で図形, 画像を発生させ, ディスプレイなどに表示するのが CG である. 一方, 二次元信号として与えられる画像 (テレビカメラで得られるシーンや写真など) を処理加工して, 別の画像や認識結果を出力するのが画像処理である (画像電子学会, 1993). 本稿における画像復元は画像処理と CG が接近, 融合している部分がある. しかし, これらは, 別体系として発達してきたため, そのソフトウェア環境は, 十分に統合化されていないといえる.

(2) 画像処理システムソフトウェア

デジタル画像処理分野において画像処理アルゴリズムのサブルーチンライブラリとしては SLIP, SPIDER などがあり, これらは, 現在, 商用化されている画像処理ソフトウェアの基礎となっている.

パーソナルコンピュータの画像処理ソフトウェアにおいては, 画像入出力と演算ができる画像処理専用ハードウェアを用いたシステムとして日立製作所の DIS (Digital Image System) がある. DIS とは, 貴重なコンテンツをデジタル化し, 保存, 管理して有効に活用するために開発されたシステムの総称である (神内・浜田・池庄司, 1997). 画像入出力の周辺機器と演算を行うパーソナルコンピュータを組み合わせたシステムがあり, 近年においてこのシステムが普及している. 画像処理ソフトウェアは Adobe 社の photoshop が主流となっている.

博物館における考古資料

1 接合・補修による復元

考古資料は, 大きく遺跡と遺物にわけられる. 遺物は, 素材によって分類すれば, 土製品・石製品・骨角器・金

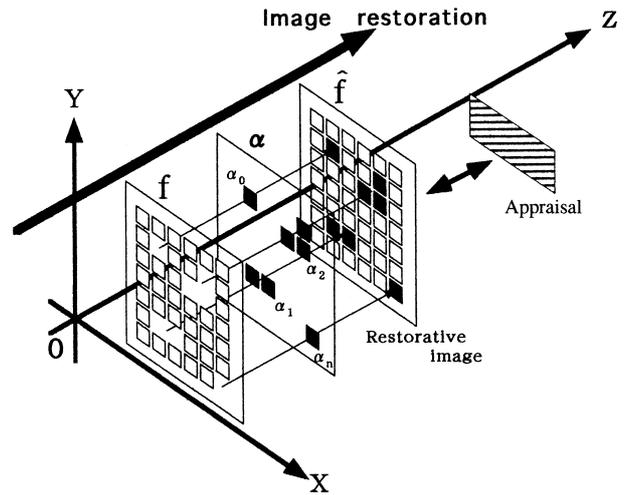


Fig. 1 The model of image restoration.

属器・木器・自然遺物があり, それ以外のものとして装飾品, 絵画, 彫刻などがある. これらは, 表面採集・発掘により収集される. 土製品においては, 水分を多量に含むことが多く, 破損部分には注意を払わなければならない. これらの収集された資料は, 水洗いにより土を除去し, 清掃し遺跡名・地区・層位などを記し整理される. これらの作業の後, 接合・補修などの復元作業を行う. 接合は, 同一層位の土器片を色・光沢・文様・土質などの観点から, 同一個体であるか検討し, 他層の資料, 隣接する発掘区の資料との兼ね合いを試みる作業が幾度も繰り返される. 復元の目処が立てば, 接着剤による接合がなされる. この際にひずみを生じない措置を考慮に入れる. 接合が終了すれば, 補修が行われる. 補修は, 石膏補修が一般的であり, 文様のない小さな欠損部の補修は, 内面に粘土をあて, 上部から石膏を流す. 大きい欠損部の補修は, 破損部の反対面などにある現存の部分に粘土をあて, 型をとり, それを欠損部分にあてて, 内面から石膏を流し補修する. 土器表面に文様などがあれば, 欠損部にあったと考えられる類似の文様の型をとらなければならない. 継ぎ目や型取りが思わしくない場合は, 石膏細工用の道具を使用して形を整える. 補修が終了すれば石膏の補修の白い面をそのまま残しておくか, ポスターカラーなどで着色する. 着色は, 補修の部分がやや識別可能にすべきであると古くから云われているが, 近年では, 識別の困難な着色も行われている. これらの作業の後, 保存措置が施され, 保管, 展示, 研究へと移行する (網干・小川・平, 1991).

2 拓本

博物館の実物資料の記録手段 (一次資料の二次資料化) としては, レプリカ, 映像を含む写真, 拓本, 実測図などがあり, それぞれの長所・短所に応じて使用される. レプリカが, 立体的構成を可能にする方法であるのに対して, 写真, 拓本, 実測図などは, 立体物を扱いや



(1) The image of the present of a subject.



(2) The image of the past of a subject.

Fig. 2 A crock, which was excavated at a site of Matyuyama city Miyamaekawa Kitasaya in the first period of ancient burial mounds.



(1) The image of the present of a subject.



(2) The image of the past of a subject.

Fig. 3 A foundation vessel an earthen vessel, which was excavated at the number-two east site of Tobe town Osimoda in the latter period of ancient burial mounds.

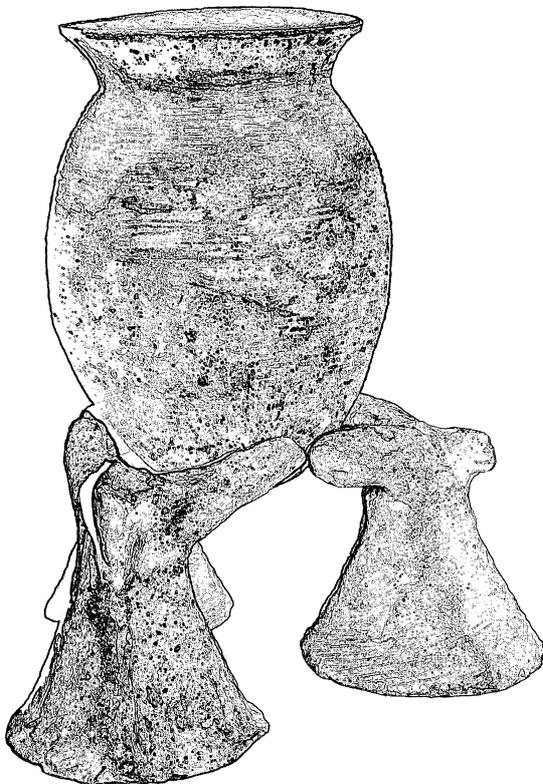


(1) The image of the present of a subject.



(2) The image of the past of a subject.

Fig. 4 A supporting foot of earthen, which was excavated at a site of Matyuyama city Miyamaekawan Kitasaya in the first period of ancient burial mounds.



Binarize and extract of contour line.

Fig. 5 An example of application to a rubbed copy.

すい平面記録化するものであり、一般的な記録方法として、古来から多く用いられていた。

この中で、拓本は、石碑、墓碑・金属器・土器・古銭などに刻まれた文字や文様を写し取る方法である。実物に直接紙をあてて写し取るため、主観や誤差が生じにくいという利点がある。

拓本には大別して、乾拓法と湿拓法の二つの方法がある。乾拓法は、紙を乾燥したままで使用し、湿拓法は、逆に水で紙を湿らせて採扱する。乾拓法は、湿拓法に比べて簡便ではあるが、湿拓法による方が仕上がりが明瞭であるため、一般には、湿拓法が用いられることが多い(大掘, 1997)。

方法及び結果 画像処理技術の考古資料への応用

発掘からその取り扱いについて一連の作業終了後に得られる考古資料は、実物資料として有効である。近年におけるデジタル技術を活用すれば、実物資料では不可能であった接合・補修による復元が、二次元画像上で可能になる。さらに画像強調などによる前処理を応用すれば、拓本などに対し、更なる利用目的の可能性が生まれる。

1 復元画像

愛媛県内から出土し、愛媛県立歴史民俗資料館に展示されている土製品三点について二次元画像上において復

元を行った (Fig.2~4). 評価については, 愛媛県立歴史民俗資料館職員に依頼した.

資料名

- 壺 (古墳前期 松山市宮前川北斎院遺跡)
- 器台 須恵器 (古墳後期 砥部町大下田2号東墳)
- 土器支脚 (古墳前期 松山市宮前川北斎院遺跡)

2 拓本への応用例

復元された資料 (Fig.4) に対して, 二値化後の輪郭の抽出を施し, 拓本への応用例を示した (Fig.5).

おわりに

本稿において, 二次元画像上における土製品の復元を, どの程度をもって復元と定義するのが非常に困難であった. 時間・空間的に失われた像 a の生成は, 著者の推測の域を出ていないものであるため, 復元画像の評価は, 重要であった. 拓本への応用例においては, 拓本は, 古来から確立された技術であり, そのものを否定するものではない, しかしながら, 新たな利用目的の可能性という観点で応用例として示したものである.

謝 辞

本稿を行うにあたり, 復元評価を行って頂いた愛媛県立歴史民俗資料館 主任 高津富男氏に感謝いたします.

引用文献

- 鳥脇純一郎 (1993) : 画像理解のためのデジタル画像処理 [1] ・昭晃堂, 東京・20p.
- 画像電子学会 (1984) : 新版 画像電子ハンドブック. コロナ社, 東京. 2p, 501p-510p.
- 高木幹雄・下田陽久 (1995) : 画像解析ハンドブック. 東京大学出版会, 東京. 6p, 416p-417p.
- 川崎順治・飯島泰蔵 (1997) : 等価近似法による1次元パルス密度変調画像の復元. 電子情報通信学会論文誌, 情報・システムII-情報処理, Vol. J80-D- II No. 6. 1335p.
- 神内俊郎・浜田長晴・池庄司伸夫 (1997) : デジタルイメージシステム (DIS) の開発とその応用. 日立評論, Vol. 79 No. 7. 27p.
- 網干善教・小川光曜・平 祐史 (1991) : 博物館学概説. 佛教大学通信教育部. 181p-193p.
- 大掘哲 (1991) : 博物館学教程. 東京堂出版, 東京. 312p-313p.