

# 画像処理による角筆文献の判読法

小林 芳 規  
小林 文 明\*

## 1. はじめに

角筆文献の国語学的価値、重要性は『角筆文献の国語学的研究』(汲古書院)で述べているところであるが、現段階では大量の文献の中から、角筆という先の尖った筆記具で紙をくぼませて書いた文字(その文字の書かれた文献を「角筆文献」という)を発見するという作業がかなりのウェートを占めていることは言うまでもない。その作業は、これまでは極一部の熟達者の目に頼って行われてきたのであるが、角筆文献所在の広域性、その研究の射程の広範性を考えると、万人が容易に角筆文献を扱うことのできる道具が必要になってくる。

最近、「角筆スコープ」が開発され、科学的手段を通して角筆文献を見(観)ることができるようになった(『しにか8月号』(大修館書店))。更に、携帯用角筆スコープを現地に持参することによって角筆文献の組織的調査研究も可能になったのである。しかしながら、角筆スコープを使った場合でも見るのはあくまで人間の目である。また、角筆文献を研究資料として保存するためには照明に工夫して手間のかかる写真撮影を行わなければならない。そこで本研究は機械(コンピュータ)を通して角筆文献を見た際に、どの程度認識することができるのか、またどのような処理を行うことができるのか、実際の画像処理装置\*\*を使って解析した結果を報告するものである。

## 2. 画像処理装置

画像処理(image processing)とは画像データをデジタル信号としてコンピュータに入力して、様々なソフトウェアにより処理を施すことを言い、自然科学、工学の分野で広く用いられている。特に近年、コンピュータの進歩に伴い、処理速度、記憶容量(メモリ)、精度等の問題が解決され、画像処理技術は飛躍的に向上した。ここでいう角筆文献の画像処理とは、いままで人間の目(頭)で行ってきた画像認識という作業をコンピュータに代行させることを意味しており、実際には図1に示したような作業手順に沿って処理が行われるであろうと考えられる。すなわち、角筆文献を画像として取り込む操作と、画像変換(画像を見やすくする)・特徴量検出(画像計測)といった具体的処理操作とに大別できる。一度コンピュータ内に画像データとして取り込んでし

---

\* 防衛大学校・地球科学科(画像データ処理室員兼務)

\*\* 防衛大学校・共同利用器材【画像データ処理装置】

まえば、後は自分たちの作成した解析手順に従ってコンピュータがそのデータを処理・加工する作業を繰り返し行うのである。

図2は、今回処理を行った画像処理装置のシステム構成図であり、大きくシステム制御系（メインコンピュータ）と画像処理系に分けられる。画像処理系（写真1）は多様な画像入力方式に対応しており、TVカメラ（写真2）、イメージスキャナ（写真3）、VTRデッキ（VHS、S-VHS）からのデータ入力が可能になっている。メインコンピュータ（VAX4000（注1））は現在中型コンピュータクラスに相当しており、シングルユーザー向けのシステムとしては、膨大なデータ量を扱う画像処理に対応できる機種といえる。

入力画像は各画素毎に、R（レッド）、G（グリーン）、およびB（ブルー）それぞれ0から255の256階調で輝度情報としてNEXUS（ネクサス（注2））本体の作業領域内へ取り込まれる。つまり、光の3原色に分けてデジタルデータとしてインプットされるわけである。例えば、黒はR = 0 : G = 0 : B = 0という値で、白はR = 255 : G = 255 : B = 255として入力される。この作業領域内のデータに対して、メインコンピュータで処理ソフトウェアを走らせて計算を行う。入力画像、処理後の画像等は20インチのカラーモニターにリアルタイムで表示され、複数の画面の構成等も自由に行うことができる。またこのモニター画面はカラーのハードコピー（インスタントフィルムあるいは35mmフィルム）にも任意に出力することができる。

### 3. 画像解析例

#### 3.1 カラーTVカメラによる入力

角筆文献の入力方法としては様々な方法が考えられるが、実際には次に挙げる3種類の方法が最も頻繁に用いられる方法であろう。

- ①原本のTVカメラによる入力
- ②原本のイメージスキャナによる入力
- ③角筆写真のイメージスキャナによる入力

人間の目で認識した作業を機械に代行させるという観点から、この章では①と②の結果を示すことにする。③については、既に写真を撮るという作業がひとつの入力過程であり、イメージスキャナによる入力は2次的入力と考えられるのでここでは割愛し、後述することにする。

ここで具体的な角筆文献の画像入力に進む前に、単純化した例を用いて角筆文献のTVカメラによる画像入力の原理を説明しておく。図3（左下）は、普通の西洋紙（コピー用紙）にいろいろな筆記具で書いた線を通常のライティングで取り込んだ画像の例である。左から、青色サインペン、水性ボールペン（青色）、ボールペン（黒色）、鉛筆（B）そして角筆（見えない）の線画である。一方、写真左上は指向性の良い懐中電灯で斜めに横から照らして取り込んだ画像である。上下を比較してみると、横からの懐中電灯の光によって角筆の凹みによる印影が明瞭に浮かび上がってきたことが確認できる。では、ボールペンはどうか、鉛筆の場合はどうか、これらの違いを定量的に表すことはできないのであろうか。そこで各画像の中央ライン上（y = 240, 図

中矢印)の輝度グラフを右側に示した。輝度グラフは各画素のRGB階調を表したものであり、全体として白っぽいほど高い値に、黒っぽいほど低い値になる。注意すべきことは、このグラフは決して凹凸そのものを表しているのではなく、あくまで入力画像の濃淡の情報を示している点である。故に、グラフにはペンの色と凹凸による影と言う2種類の濃淡情報が結果として含まれているのである。さて、この輝度グラフを比較してみると興味深い結果が現れている。通常のライティング(右下)では、相対的にサインペンが濃く鉛筆が薄く、また無地の部分の階調の変化が乏しいことがそのままグラフの輝度変化に現れている。これに対して、懐中電灯によるライティング(右上)では特に紙に凹みをつけるボールペンと、角筆との輝度をはっきり現れている。しかも画像左から光を当てたため、凹みの左側ではある勾配をもった影が付き、右側では光の反射のためシャープな形状のグラフとなり、また紙の表面の凹凸も下のグラフに比べてはっきりと現れていることがわかる。すなわち、通常のライティングでは目で見たとおりの色の濃淡のみが現れ、斜めからのライティングで色の濃淡に加えて凹凸による影の濃淡情報が含まれたのである。このような定量的な輝度値の変化を知ることによって、文字と紙の凹凸と角筆文字とを区別し、角筆文字部分のみを抽出(強調)することが可能になってくるのである。前述したように、取り込まれた画像データは各画素毎にRGB256階調の輝度(濃度値)としてコンピュータのメモリに記憶されているので、一旦取り込んだ各データに対して処理を行ったり、色調を変えたりすることなどは容易に行うことができる。以下この様な原理でもって、実際の角筆文献画像に処理を行ってみる。

さて、TVカメラによる入力方法について、今回行った画像解析の作業領域はx方向に640、y方向に480という大きさを選択した。つまり1画面は、640×480個の画素で構成されることになり、実際取り込む原本の大きさによってその原図にに対する解像度が決定されるわけである。図4は解析対象にした角筆文献：養賢堂版『孟子』第四冊卷十二の十五(裏)の全体画像である。この写真は通常のライティングで取り込んだため角筆による凹みは認識できないが、七行目の「而儉於」の右側に角筆文字があり、以下外の枠内部分を解析領域とした。ちなみに、この角筆文字は肉眼では判別しづらい部類に入る。まず、図5に図4の解析領域内をTVカメラで取り込んだ結果を示す。通常のライティングでは角筆文字を浮かび上がらせることは難しいので、室内の蛍光灯等をすべて消して懐中電灯の光を画面左側から約30度の角度で照らして(これが角筆文字解読の最良の方法とされている)撮影を行った。この画像から「けん」と言う角筆文字が同様の条件下、肉眼で見た場合とほぼ同程度に確認できることがわかる。尚、画像右側の白く光った線は、原本の紙の折れ目で光が反射したものである。取り込んだ画像は原図87mm×65mmの矩形領域であるから、1画素は原図に対して1辺0.14mmに対応し、和紙の凹凸まで識別している。

### 3.2 入力画像の処理結果

次に、図5に示した入力画像を使って様々な処理を行った結果を示すことにする。ここでは入力された角筆文字をいかに見やすく表示するかという点に主眼をおく。まず、入力画像に対して任意の輝度に変換して出力してみる。図6に幾つかの画像処理原理を示したように、輝度変換と

は次のような原理になる。通常は入力データに対して出力データは1対1に対応している(図6(a))。言い換えると、白は白(255→255)、黒は黒(0→0)として映し出されるのである。この対応パターンを変えるとどうなるのか。ちなみに(b)のようにテーブルを変えると、白は黒(255→0)、黒は白(0→255)として出力される。すなわち写真のネガである。図7にこの結果を示す。通常は白っぽく見える光の反射によるシャープなエッジ部分が逆に黒く見えるのでノーマル画像(図5)に比べて角筆文字が見やすくなったのではないだろうか。更に図6(c)のような出力パターンに変換すると、ある輝度部分だけを強調することができる(これを二値化という)。図8に輝度値120~220を出力255、その他の部分を出力0とした強調画像を示す。原図(図5)と比較してみると、光線の当たり具合(明るいところが青く、暗いところが赤から黒っぽく表されている)や、和紙表面のざらつき具合をより鮮明に確認することができる。唯、角筆文字は確認できるものの、表面のざらつき(凹凸)が強調されてしまったため、角筆文字だけが強調された印象は薄い。このことは、原図(図5)にエッジ検出処理(原理は図6(b))を行った結果(図9)を見ても角筆文字のみが明瞭に検出されないことからわかる。では、どうしてこのような結果が生じてしまうのであろうか。輝度グラフを用いて調べてみる。1例として $y=240$ (図中実線)ライン上の輝度グラフを図10に示してある。前述したように、このグラフの輝度変化には主として和紙の凹凸、墨の文字、そして角筆の凹みという3つの情報が含まれている。これらの結果により、1)墨の文字の部分は値が0(黒)に近い。2)角筆文字部分の輝度変化(図中矢印)は概ね30から140程度である。3)和紙表面の凹凸による変化成分は10から60程度の値である、という結論が導かれる。つまり、和紙表面の凹凸はかなり大きく、紙の凹凸の上位値と角筆文字の凹みの下位値とが輝度値30から60で重なってしまうため、紙の凹凸と角筆文字とを完全に分離することは非常に困難なことであることが理解できる。

そこで、完全に分離する事は無理でも、ある程度紙の凹凸を除去して角筆文字だけ浮かび上がらせる方法を考えることにする。すなわち、図6(e)に示した平滑化処理を行って表面の凹凸を除去しようとするのである。この処理は、ある境界の値(エッジの大きさ)以下の画素についてのみ平滑化(スムージング)を行い、紙の凹凸と角筆文字の凹凸とを区別する事を意味する。ここでは、境界値(レベル値)=30、近傍11画素の(任意の)設定で処理を行った結果を図11に示す。図7と比較してみれば、処理の内容が一目瞭然であり、面の凹凸がなくなったぶんだけ、角筆文字が鮮明に表示されたことがわかる。この画像にエッジ処理を施すと、機械的にもある程度角筆文字が検出されることがわかる(図12)。

### 3.3 イメージスキャナによる入力

上述のTVカメラによる入力方法では、ライティングを調整しなければならなかったが、イメージスキャナによる入力時はその必要がない。イメージスキャナの外観は写真3に示したとおり、操作方法も含めて小型のカラーコピー機を想像してもらえば良い。特筆すべき点は、600 DPI(24ドット/mm)の高解像度で読みとるため高画質な画像を再現することが可能になっていることである。なによりもイメージスキャナによる入力の利点は、全く同じ条件で、自動的に原

図を画像データとして取り込めるということである。換言すると、TVカメラ時のようにライティングの調整をする必要がなく、定量的な画像データをより客観的に、再現性をもって扱うことができるのである。

図13は図4内枠で示した矩形部分を取り込んだ結果である。解析領域を原図32mm×24mmにとり1画素が一辺0.05mm四方に相当しているので、図13の画像を見てわかるように、和紙の繊維状態まで高い精度で表されている。唯、透過光を通して読みとるために、和紙が透けて裏側の文字まで表示されてしまっている。図14は図13のをモニター上で拡大して、輝度変化を確認できる画素部分を繋ぎ合わせて黄色の線で表示したものである。この結果を図5の画像と比較してみると、ほぼ同程度に角筆文字が解析されたことがわかる。これらの画像に対して3.2章と同様の処理を実行するわけだが、ここでは省略する。

#### 4. 考察とまとめ

以上のように画像処理装置による角筆文献の事例解析結果を示したが、この章では画像データの入力方法、処理方法、そしてデータの管理方法の3つの観点からこのような画像処理システムを用いた場合の有用性、あるいは問題点等を纏めておきたいと思う。

まず、画像データの入力方法については、この過程が今回の画像処理の中で最も難しい点といえる。いかに人間の目で見た様に画像を機械に読み込ませるかという問題は工学的にも解決されておらず、しかも角筆文献の場合は印影の出ない入力画像はデータとして何の意味も持たないからである。原理的にはイメージスキャナの方が解像度が高く、より客観的であるが、紙の透過性の問題、ライティングの仕方によってはTVカメラ入力の方が出来が良かったりすること等を考えると、TVカメラとイメージスキャナとでは、どちらが角筆文献入力に適しているかは一概には言えない。故に、原本の紙の材質、角筆文字の種類、あるいは解析領域の大きさといった要素を変えて、より多くの画像データについて試行錯誤してみることが必要になってくる。入力方法に関して、少なくとも今回の解析結果から導かれる結論は次のとおりである。3.1章で指摘したように入力しようとする原本が研究室(手元)にあり自由に扱える場合とそうでない場合とで入力方法が異なる。

TVカメラ……………原本が手元にあり、なるべく鮮明な角筆文献の印影を表示するとき用いる。

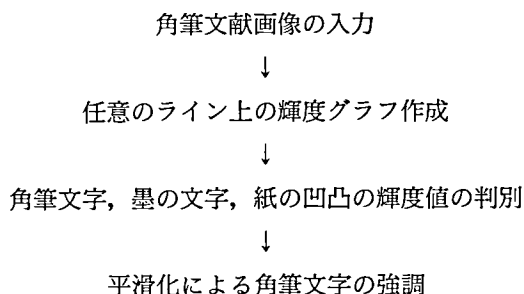
但し、肉眼で検索する時と同様にライティングを工夫しなければならない。

イメージスキャナ…原本が手元にあり、客観的解析データとして画像を取り込むとき用いる。

写真撮影……………対象となる角筆文献が例えば重要文化財等に指定されていて外に持ち出せない場合に行く。なるべく鮮明な角筆文献の写真を撮り、その写真を研究室に持ち帰ってイメージスキャナで取り込む。後の処理は同様である。

次に処理方法については、単純な画像変換(例えば二値化)でも、かなり明瞭な表示になるこ

とがわかった。しかも、画像をモニターに表示できるという点は、普通の照明の室内で、複数の人数でモニター画面を見ながら議論・検討等を進めることができることを意味しており、この点は研究上の特筆すべき利点である。更に、今回行った解析方法で角筆文字の鮮明化（強調）が実行できることが示唆された。すなわち、



という科学的な処理手順で、より鮮明な角筆文字を表示する事が可能になったのである。今回の画像処理システムは、上記のようなかなり多くの処理に対しても十分な記憶容量と処理速度を有しているため、ほぼ瞬時に処理を実行することが可能であった。更に様々な処理（ソフトウェア）を駆使すれば角筆文字の表示だけではなく、次に挙げるような解析も十分に行えるであろうと思われる。

- ◎ 角筆文字の筆跡判断…同じ角筆文字の画像を重ねて合わせるにより、同一人物の筆跡かどうか判断することができる。
- ◎ 角筆文字の筆圧解析…筆圧の違いはそのまま画像の影の濃さとして現れるから、濃度値として筆圧を比較することが可能になる。

例えばこの様な解析により、一冊の文献内の角筆文字がすべて同一人物によって書かれたものかあるいは複数人物が関与していたのか判断できるのである。何れにしても一度画像を取り込んでしまえば、後はコンピュータ内でどんな補正、加工も自由自在に行えるのは大きな利点である。尚、今回の解析結果はすべてインスタントフィルムのカラーハードコピーを用いたが、これはいわゆるポラロイド写真であり、カラーモニター画面に比べてかなり劣っている点をつけ加えておく。ビデオプリンター等を用いればこの様な出力方法に関する問題点は容易に解決される。

最後に画像データの管理に関して述べる。前章まででは触れなかったが、この点が、コンピュータを使う最も重要な点の一つと言える。今後、角筆文献の量も急速に伸び、また研究者の数も多くなると、文献の照会という作業が必要になってくる。原本は日本全国に散在しているので、一ヶ所に角筆文献画像データを集中させそのデータを希望者が自由に使えるようにすることが望ましい。すなわち、角筆文献の画像データベースを作成するのである。そうすれば、わざわざ旅費をかけて資料を複写しに来るようなことをしなくても、その文献データ資料室のコンピュータシ

システム内に画像データを保存しておき、必要な人に転送すれば良いのである。このように、データ処理を行う機能のほかに、画像データベースシステムとしてコンピュータを用いてデータの管理を行うのである。以下に画像データベースシステムを導入してデータ管理をする有効性の具体的項目を挙げる。

- ① 角筆文献を画像データとしてコンピュータに入力して、画像データベースを作成することによって画像の蓄積、検索、表示が簡単かつ迅速に行える。
- ② データが永久保存できる。磁気テープ等に保存することによって、再現性のある画像データをコンパクトに管理できる。
- ③ 簡単に処理を行える。写真だと文献撮影、引伸ばしに高度な技術が必要であり年月とともに劣化してしまうが、コンピュータだと同じ条件で画像データを扱うことができる。
- ④ データの通信が簡単になる。利用者が各大学間の大型計算機ネットワーク等を使用すれば、遠隔地から画像データベースを検索し、必要な画像データを転送する事が可能になる。

唯、この様なコンピュータシステムを導入した場合には少なくとも一人は専属のシステム管理者が必要になることを付け加えておく。

以上のように、画像入力方法の確立という点では多少問題が残るものの、画像処理装置による角筆文献画像データの入力、科学的処理の実行は、角筆文献の調査、研究に対して非常に有効な手段であると考えられ、将来このようなシステムが導入されれば研究は飛躍的に発展するものと思われる。

謝辞 この研究を行うに当たって、画像データ処理装置の使用を快く認めて下さった画像データ処理室長、防衛大学校・地球科学科教授・内藤玄一博士に深謝します。

(注1) アメリカ合衆国DEC社のコンピュータの名称。

(注2) ㈱ネクスス社の汎用画像処理装置の名称。画像入力の多様性、処理速度、解像度、および画像処理機能の点で現存の機種の中で最も優れていると考えられる。

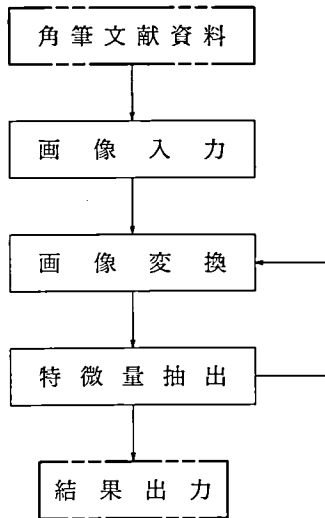


図1. 画像処理による解析手順

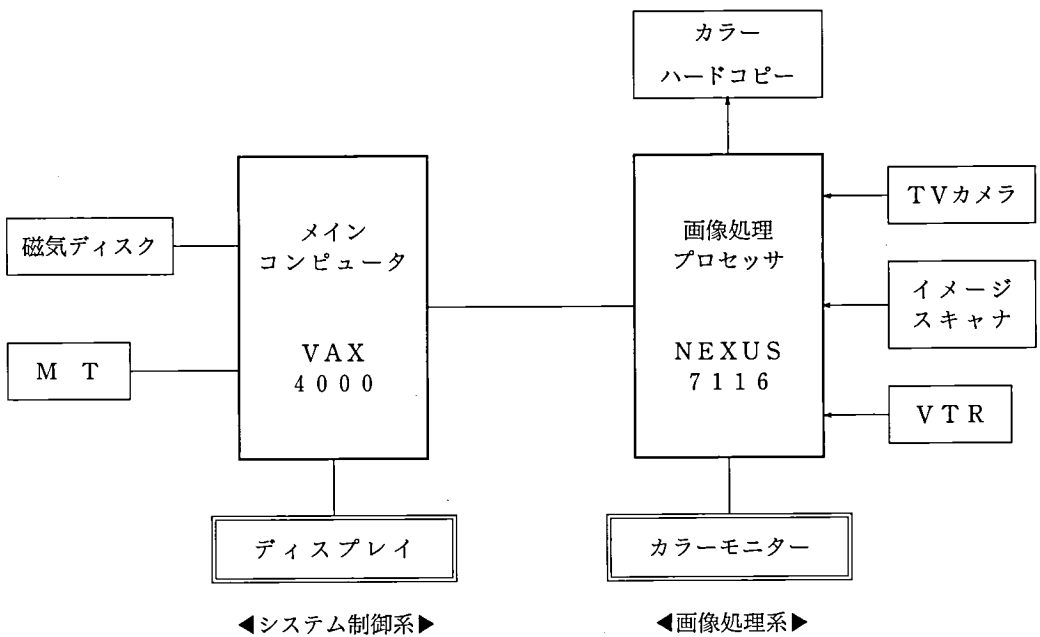


図2. 画像処理装置システム構成図





写真1. 防衛大学校画像データ処理システムの外観。

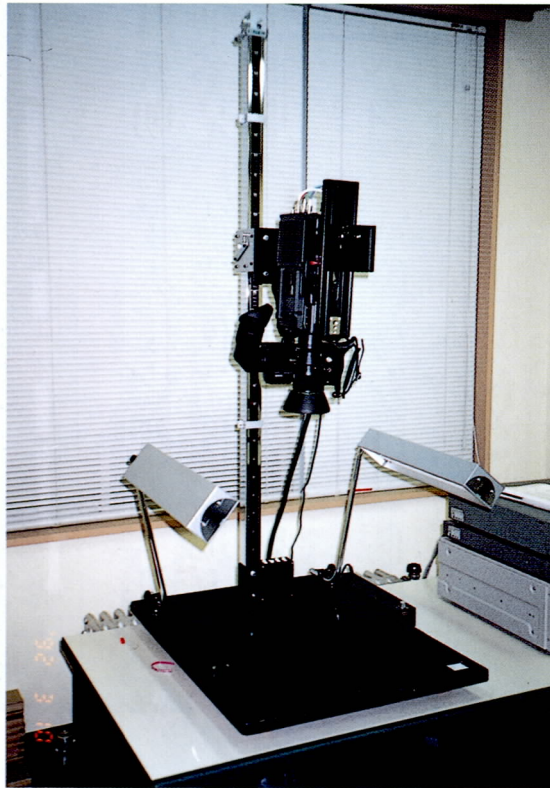


写真2. TV カメラ (ソニーCCD カラービデオカメラ DXC-327)。



写真3. イメージスキャナ (シャープ JX-600)。

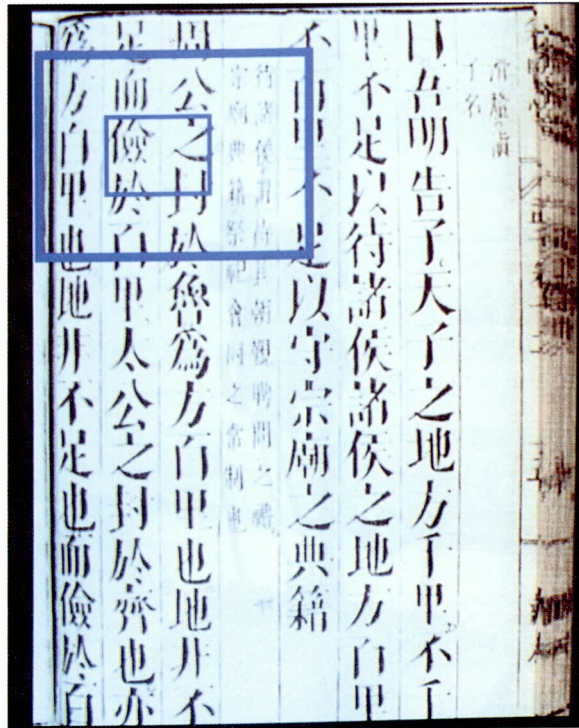


図4. 養賢堂版『孟子』第四冊卷十二の十五(裏)の全体画像。  
外枠内はTVカメラの解析領域を、内枠内はイメージスキャナの解析領域を示す。

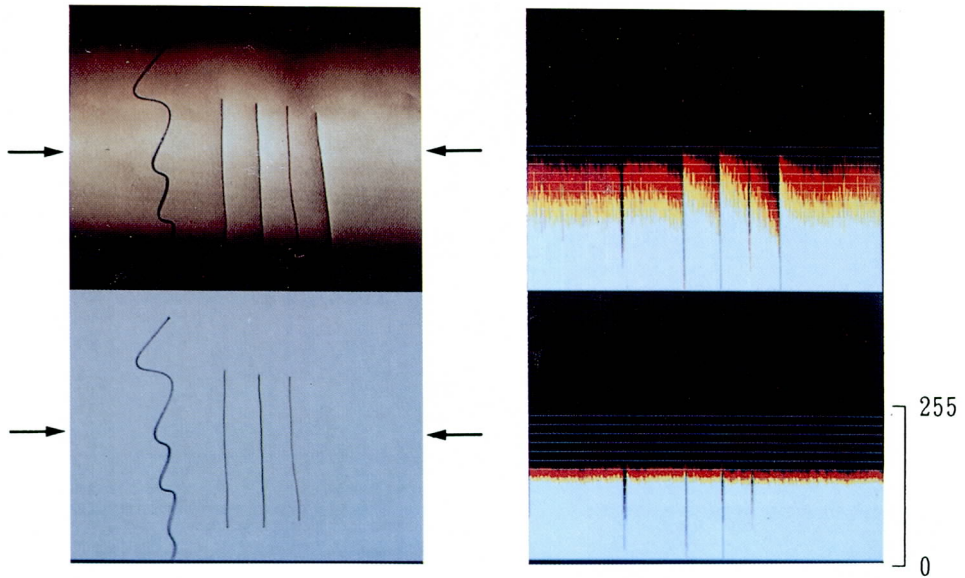


図3. 様々な筆記具による画像取り込み例。左から、サインペン、水性ボールペン、ボールペン、鉛筆および角筆による線画を表す。TVカメラ通常のライティングの場合（左下）と斜めから光を与えた場合（左上）。右側はそれぞれの画像の中央ライン（矢印）に沿った輝度グラフ。グラフの目盛りは輝度値16毎に16段階で示されている。



図5. 図4の外側枠内領域をTVカメラで取り込んだ画像。

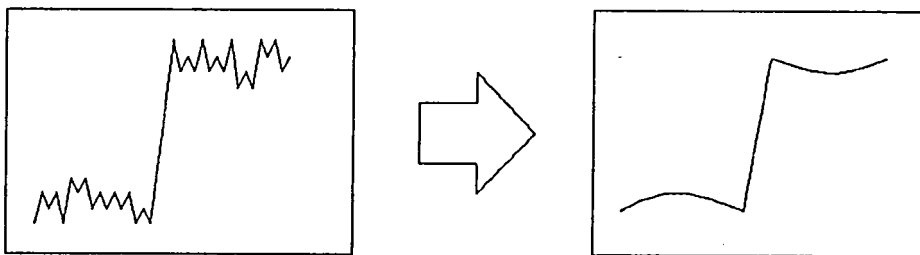
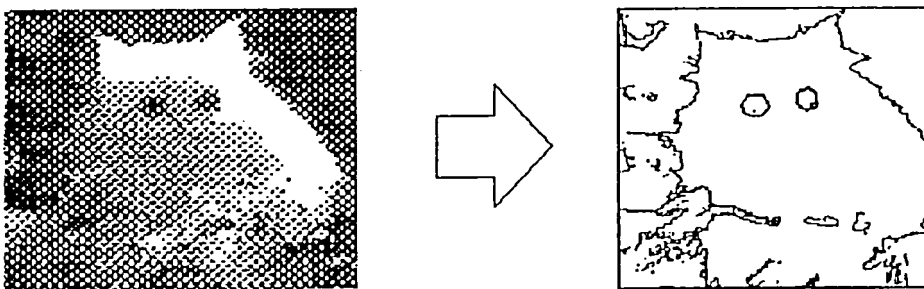
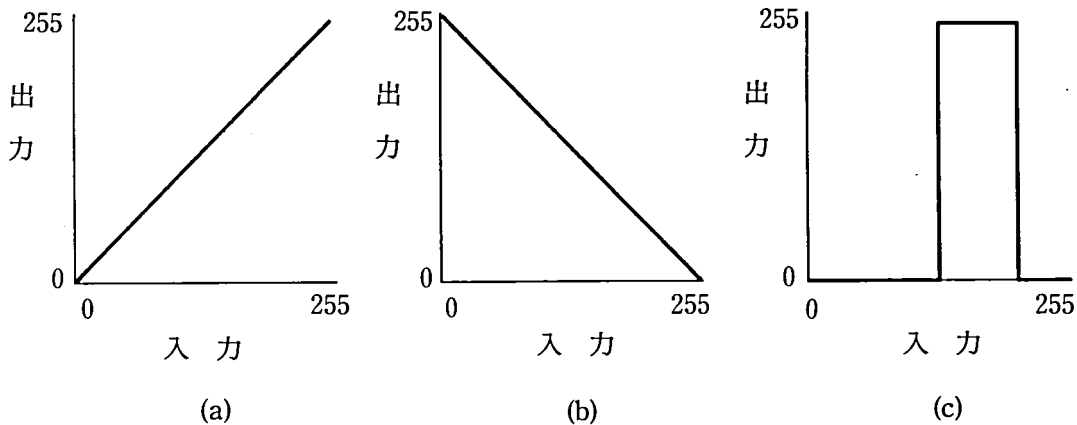


図6. 画像変換の原理図。画像データの入力輝度と出力輝度の対応パターン (a~c)。(a)通常の出出力パターン。(b)反転パターン。(c)二値化処理のパターン。(d)エッジ検出処理の基本原理。空間微分処理を行い、濃度値の変化の大きい部分(エッジ)だけを検出する。(e)平滑化処理の原理。但し、(d)と(e)はNEXUS解説図による。

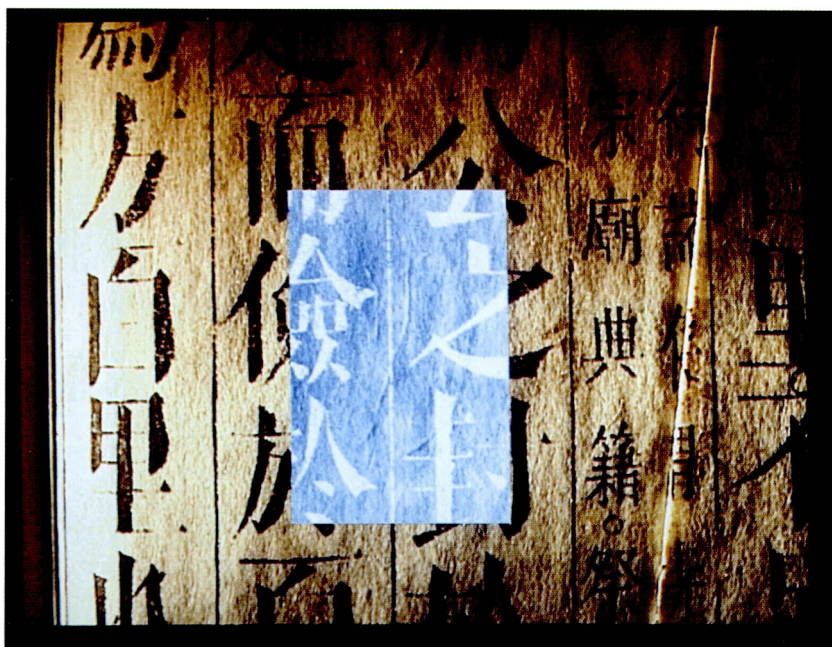


図7. 図5の反転画像。図6(b)の出力パターンで輝度変換した画像。但し矩形領域内だけに処理を施している。

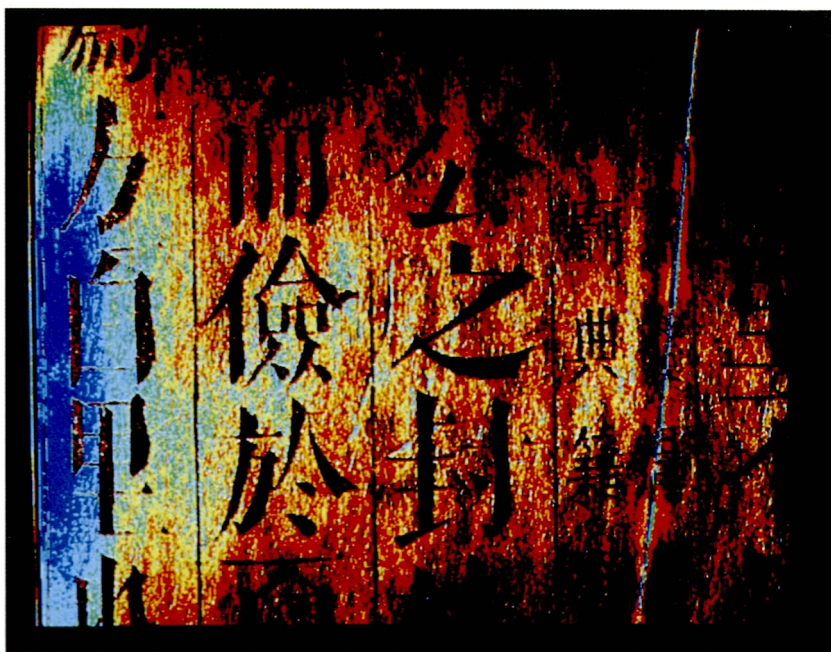


図8. 図5の強調画像。図6(c)の出力パターンで輝度変換した画像。

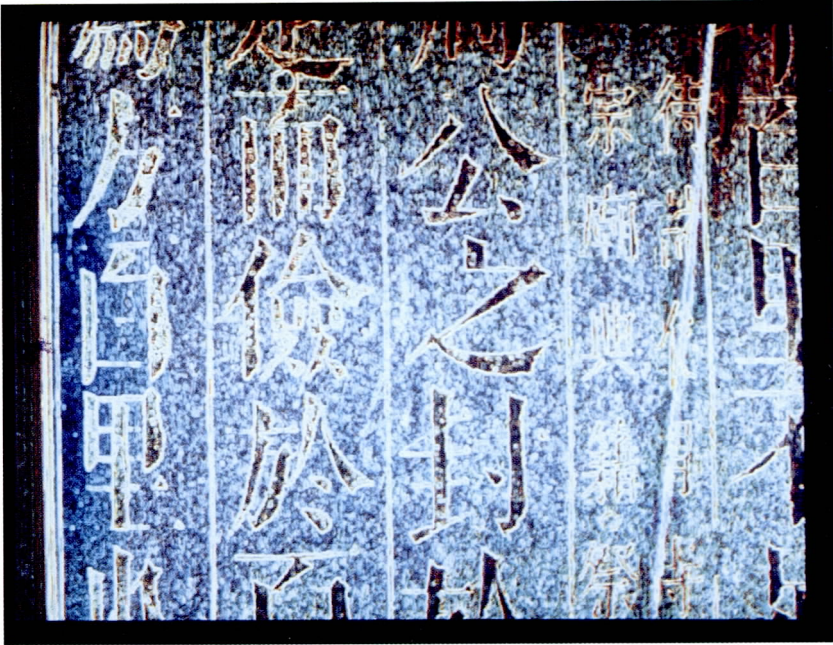


図9. 図5にエッジ処理を行った画像。

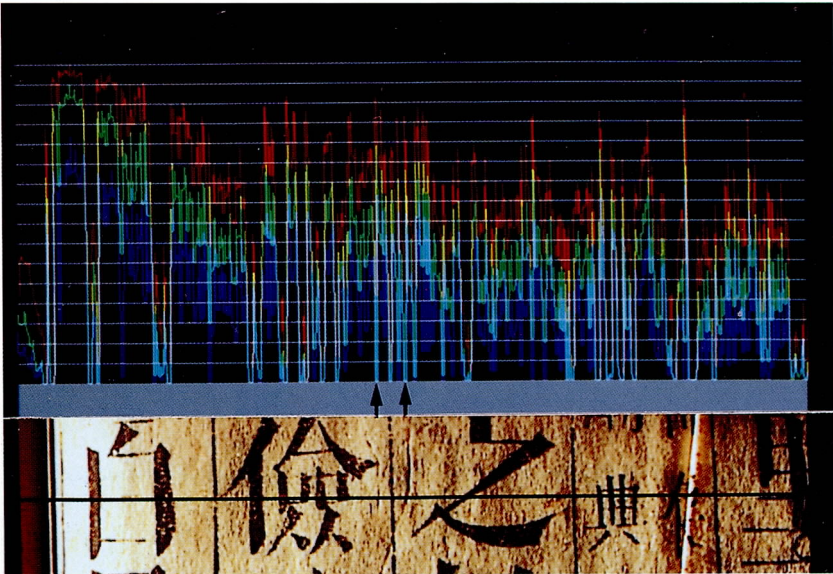


図10. 下図実線に沿った輝度グラフ。矢印は角筆文字の位置を示す。

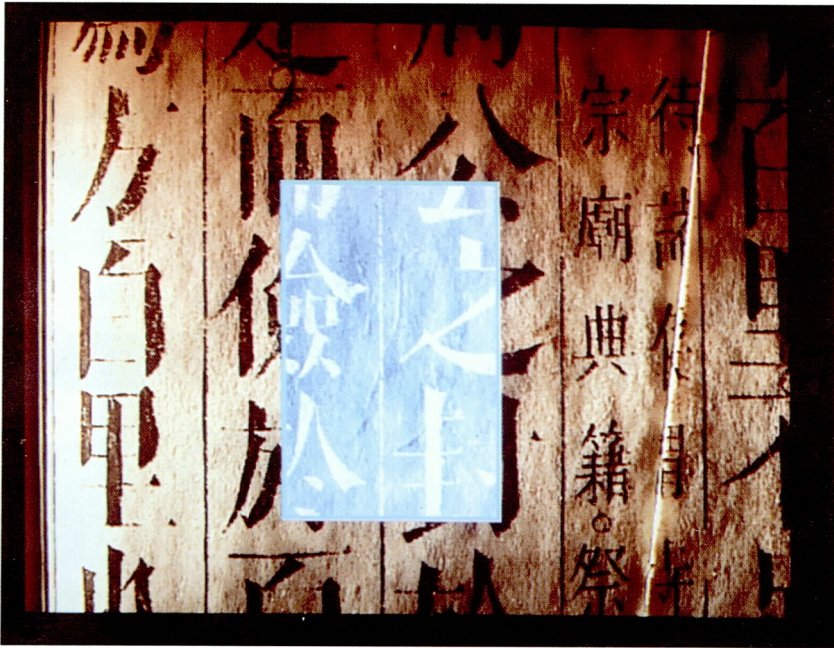


図11. 図7に平滑化処理を行った結果の画像。

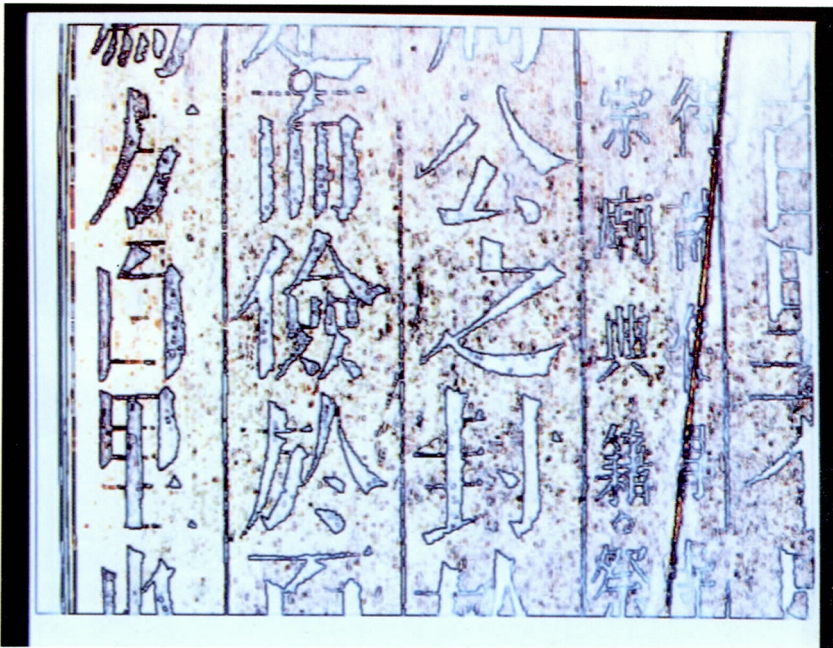


図12. 平滑化処理を行った画像（図11）にエッジ処理を施した画像。

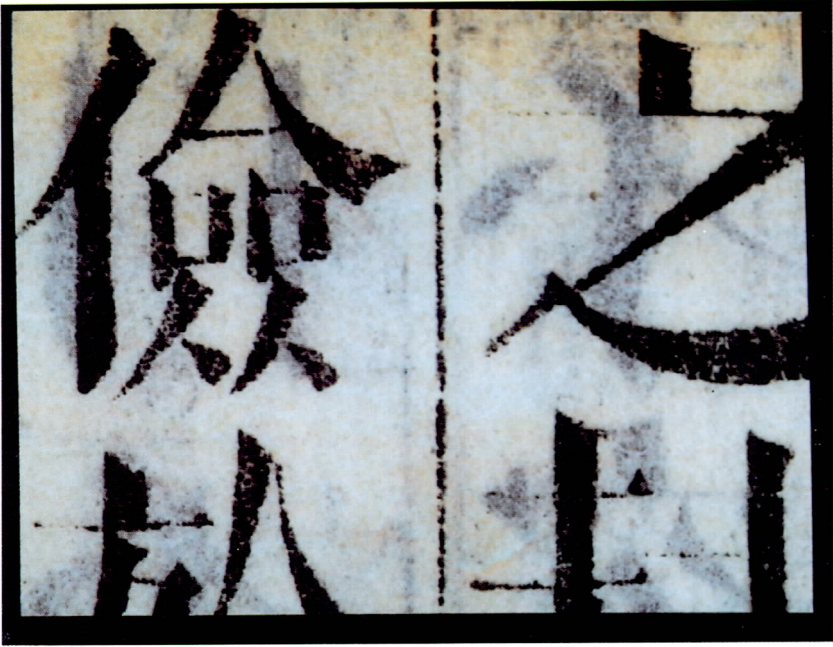


図13. 図4の内側枠内領域をイメージスキャナで取り込んだ画像。

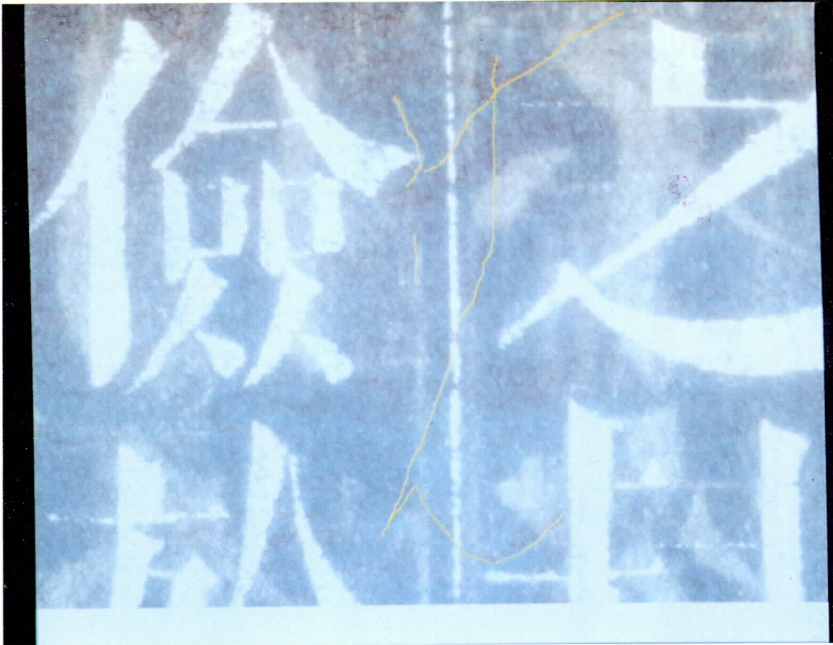


図14. 図13の輝度変化部分を繋いだ(黄色い線)反転画像。