

# ビデオ撮影による古文書の効率的画像入力法と自動接続処理

柴山 守† 星野 聰††

古文書を部分画像に分割してビデオ撮影し、ワークステーション (WS) 上でこのビデオ動画像を再生・表示しながら、再生画像からサンプリングした部分画像を再生速度に遅延することなく自動接続し、復元する画像入力法を提案する。部分画像を接続するために、部分画像の重複部分に対する特徴抽出とストロークに依存した特徴量に基づく改良型高速マッチング法を工夫した。本マッチング法において接続に要する時間は、従来から用いられてきた画像重ね合せ法に比較して約 1/6 以下 (1 秒以内) に短縮されたが、これはその有効性を示している。さらに、本マッチング法を組み込んだビデオ動画像による古文書画像入力システムを実現し、無作為に選んだ古文書 22 点に対する実験では、90.9% の文書の自動接続に成功している。

## An Effective Image Input and Automatic Mosaicking of Historical Document Using Video Camera

MAMORU SHIBAYAMA† and SATOSHI HOSHINO††

An effective image input method for historical documents using video camera by mosaicking images with overlapped parts is described. In order to reduce the time necessary for matching adjacent images, the features have been extracted from the projective histogram for each character string in the overlapped parts. A revised high-speed matching has been devised based on the quantification derived from the stroke geometry of character on the documents. The results of the experiment indicated that the time spent for the mosaicking was about within one second, which was 16.7%, compared with the traditional methods. Furthermore, an input system of historical documents incorporating the high-speed matching has been developed. In the experiment of automatic mosaicking on the system, the rate of success was 90.9% for 22 documents that were randomly sampled.

### 1. はじめに

近年の計算機技術の進展やインターネット利用の広がりを背景にして、人文学分野におけるコンピュータ利用や歴史資料の情報化の研究<sup>1)</sup>が進められ、古文書資料のコンピュータによる蓄積、流通、提供が試みられている<sup>2)</sup>。電子図書館構想に基づく所蔵資料の WWW (World Wide Web) による公開<sup>3)</sup>や、一次史料を研究対象とする歴史研究に有効な古文書画像データベースの構築<sup>4)</sup>は、その具体例である。しかし、古文書資料の情報化は容易でない。特に、研究者自らが取り扱う場合には、画像処理の各過程で困難な問題に直面する。これは、古文書が、(1) 巻紙のように横に長い、あるいは掛け軸のように縦に長く、あるいは縦横ともに長く面積の大きいものがあるなど形状が一様でない、

(2) 資料の経年的変化や劣化などから容易に取り扱えない、(3) 時代、主題、地域などいずれの視点からも多様で、(4) 一般に数万点、数十万点と量的に膨大であるなどの特徴を持つからである。その最大の課題が画像入力法を開発することである。

古文書の画像入力は、直接的な入力法と間接的な入力法に分けられる。直接的な画像入力には、イメージスキャナや高精細な CCD カメラなどが用いられる。入力に際して、形状の大きい文書では部分画像に分割して入力する必要があり、また、文書の取扱いには、その劣化、破損に配慮しなければならない。一方、間接的な入力としては、写真撮影し、そのフィルムからデジタル化する手法やマイクロフィルムからデジタル化する手法がとられているが、概してこれらの装置の規模も大きく、限られた機関で、かつ専門家しか扱えなかった。ところが最近、高性能で低価格のビデオカメラやデジタル・スチルカメラが出現し、またパソコンやワークステーション (WS) では動画像が扱える機能が付加されて、小規模でパーソナルな画像入力・処

† 大阪市立大学学術情報総合センター

Media Center, Osaka City University

†† 京都大学名誉教授

Professor Emeritus of Kyoto University

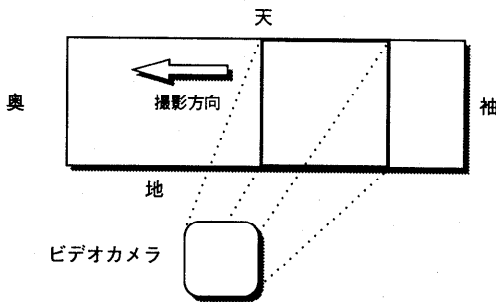


図1 ビデオカメラによる古文書撮影

Fig. 1 The input of historical document using video camera.

理が専門家でなくとも容易に実現できるようになってきた。

古文書諸資料が、民生用ビデオカメラを利用し、カラーのデジタル画像として直接にコンピュータ入力できれば経済的であるとともに、屏風、壁面、天井などの容易に扱えない対象物の入力も可能になる。しかし、ビデオカメラによる入力では、カメラの性能に依存して、満足できる解像度や画質を得ることは難しい。そこで、入力対象である古文書を撮影した動画像から、複数の画像に分割してコンピュータに入力し、後にコンピュータ上でそれらの画像を自動接続して一連の画像を復元する方法が考えられる。この方法が可能になるとすれば、写真撮影の場合に必要なデジタル化の作業、写真撮影やスチルカメラで必要になる画像の接続処理などの手間のかかる作業が軽減される。

また、写真撮影やスチルカメラの利用においては、形状の大きい文書を分割して撮影しようとする場合にその連続性について意識しなければならない。ビデオカメラの利用では、こうした負担を避けることができ、さらに古文書以外の諸資料についても一続きの動画像として記録できる特徴を持つ。

以上のような理由から、筆者らは民生用ビデオカメラを用いて、古文書を静止画像として分割撮影し、コンピュータに入力後、WS上で自動的に各画像を接続し、一続きの古文書画像に復元する実験を行ってきた<sup>5),6)</sup>。そこで本論文では、図1に示すように、ビデオカメラにより古文書の行方向を上下に保ちつつ、左に移動してビデオ撮影する。このビデオ画像を再生・表示しながら、再生速度に遅延することなく再生画像をキャプチャ（以下、サンプリングという）した隣接画像を自動接続し、復元する手法を提案する。ここで隣接画像とは、ある再生画像に対して、その後にサンプリングされ、まだ先の再生画像と共通部分を持つ静止画像をいう。このような画像入力法を実現するため

には、まず隣接画像間の画像の接続が必要になり、隣接画像の重複部分の画像を利用して、(1)位置合せや座標系の統一、(2)濃度補正、(3)接合点の探索、(4)接合点周辺の平滑化などの処理を行わねばならない<sup>7)</sup>。空中写真の接続例では、部分画像に対する幾何変換や濃度変換による接続処理が報告されている<sup>8)</sup>。しかし、濃度変換や濃度補正、接合点周辺の平滑化については、本論文の対象としていない。

さて、ビデオ動画像を再生・表示しながらのサンプリングによる部分画像の自動接続では、接続処理に必要な所要時間を極力短縮した簡単なアルゴリズムで古文書に記された文字列の特徴を抽出し、位置合せ、接合点の探索を行ってマッチングする機能の実現が必要である。そこで接続処理においては、位置合せや接合点の探索のために、サンプリングされた隣接画像の重複部分に存在する文字列の特徴抽出を行い、量子化した特徴量に基づく高速マッチング法を工夫した<sup>9)</sup>。本論文では、この高速マッチング法をベースにして、ストロークに基づく特徴抽出についての考察を行い、位置合せの方法について改善した改良型高速マッチング法を提案する。そして、本マッチング法と従来からマッチングに用いられてきた残差逐次検定法（SSDA法）にピラミッド探索法を併用した重ね合せ法、これに古文書文字列の垂直射影ヒストグラムに基づいてテンプレート画像の探索範囲を限定した手法を併用した重ね合せ法との比較を行う。また、本マッチング法を組み込んだ古文書画像入力システムの実現、およびこのシステムを用いて行った22件の古文書に対する接続処理の実験結果について述べる。この手法の実現によって、古文書画像がカラー画像で、かつ十分判読できる解像度や画質、色調でディスプレイに表示できることを確認した。

## 2. 古文書画像の接続処理

### 2.1 古文書分割画像の接続処理過程

サンプリングされる再生画像は、接続処理されて一連の画像となる。このサンプリングされる画像は一定個数の行から成る部分画像で、ある条件（後述）を満足して選択される画像を基準画像と呼び、これとマッチングを行う基準画像以外の画像で、基準画像に隣接する画像を対象画像と呼ぶ。また、マッチングのテンプレートに用いる基準画像上の行を基準行と呼ぶ。また、この基準画像は対象画像の右側に位置し、対象画像と重複部分（同一行に対する画像）を含んでいるものと仮定する。

ビデオ動画像を再生・表示しながら一定時間間隔で

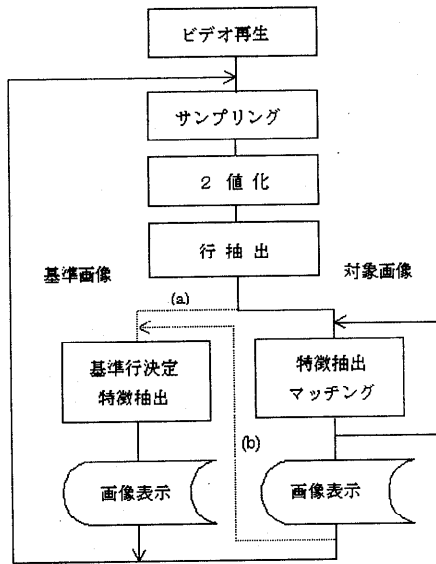


図 2 古文書画像の接続処理過程。(a) 先頭画像のとき、(b) 基準画像を対象画像で置き換えるとき

Fig. 2 The flowchart of mosaicking process for historical document images.

再生画像のサンプリングを行い、自動接続する方式は、重複部分を含む基準画像と対象画像から成る 2 枚の部分画像を対象にした接続処理の繰返しである。この接続処理は、基準画像上の最左端の 1 行を基準行として決定し、基準行と対象画像上の各行を順次照合して、一致する行を求める。このようにして得られた行を基準にして対象画像を基準画像に重ねて表示する。続いて、次にサンプリングされた新たな対象画像と基準画像の間で同様のマッチングを繰り返す。この隣接した画像を接続するための処理過程を、図 2 に示す。ここで、基準画像と順次サンプリングされる対象画像のマッチングの繰返しによって、対象画像はカメラのバンドで順次左方向に移動した部分画像になるため、両画像の重複部分に含まれる行数は順次減少することになる。したがって、適当な条件に基づいて基準画像を更新しなければならない。基準画像として選択される条件は、(a) サンプリングされた画像が先頭の画像であるとき、または (b) マッチングに成功した対象画像で、かつ基準画像との重複部分に含まれる行数  $n$  が、 $n \leq c$  となったとき、基準画像をこの対象画像で置き換える。後述する実験で  $c$  の値は、2 である。

サンプリングするビデオ画像は、1 フレームあたり  $640 \times 480$  画素、RGB 各 256 階調のカラー静止画像である。サンプリングした画像は、あらかじめパラメータで指定した固定閾値で 2 値化する。この 2 値化画像から垂直射影ヒストグラムを求め、行抽出のための閾

値  $t$  に基づいて行を切り出す<sup>6)</sup>。閾値  $t$  には

$$t = v_{\min} + C \cdot (v_{\max} - v_{\min}) \quad (1)$$

を用いた。ここで、 $v_{\min}$  は垂直射影ヒストグラム中の最小値、 $v_{\max}$  は同最大値を表し、係数  $C$  は  $0.0 < C < 1.0$  であるが、ノイズに影響されるのを防ぐため、経験的に 0.1 を採用している。サンプリングした画像が先頭の画像であるとき、基準行の特徴抽出を行う。特徴抽出の手法については 3.1 節で述べる。先頭以外の画像では、対象画像から抽出されたすべての行に対して最右端の行から順次、特徴抽出を行い基準行との間でマッチングを繰り返す。マッチングに成功後、当該画像を表示する。対象画像が前述の条件 (b) を満足したとき、当該画像を基準画像にして、接続処理を繰り返す。

ビデオ撮影した古文書画像<sup>10)</sup>の例を図 3 に示す。

対象画像は、それに含まれる各行の画像を含む矩形部分の画像の集まりに分解され、基準画像では基準行から成る矩形部分が求められる。これらの画像のマッチングによる接続処理では、左右方向と上下方向を考慮しなければならないが、本論文では、撮影する古文書の行の方向はカメラの撮影範囲の上下方向にほぼ一致しているとして、左右方向のみの接続を対象にする。

## 2.2 マッチング法の検討

基準画像と対象画像のマッチング手法としては、両画像の重複部分における基準行と対象画像上の各行の類似度を調べて、接合位置を求めるテンプレート・マッチングの残差逐次検定 (SSDA) 法<sup>7)</sup>が考えられる。しかし、照合に用いるテンプレートの形、大きさ、方向が固定されており、対象画像の 2 値化レベルの違いや画像に歪みが生ずると照合できない。また、対象画像にノイズが含まれていたり、形状の類似性が高いと正確な位置の検出ができない。さらに、本手法は対象画像の全体にわたる広い範囲の照合が要求され、照合時間が長いなどの問題がある。これに対して、提案する改良型高速マッチング法では、古文書画像の各文字列のストローク方向に注目した特徴量を用いるため、2 値化レベルの違いやノイズによる誤った照合を減少させることができ、また照合時間が短い特徴を持つ。

次に、ピラミッド探索法<sup>11)</sup>の適用が考えられる。この手法は、画像の重ね合わせにおいてピラミッド構造を採用し、粗い解像度の最上層で概略重ね合わせを行ってから密の解像度で詳細重ね合わせを行い、照合時間を短縮する手法で、バックトラックを必要としない。このピラミッド探索において照合に SSDA 法を用いたマッチングが効果的であるが、この方法で解像度を落とすと誤探索の可能性を生ずる。

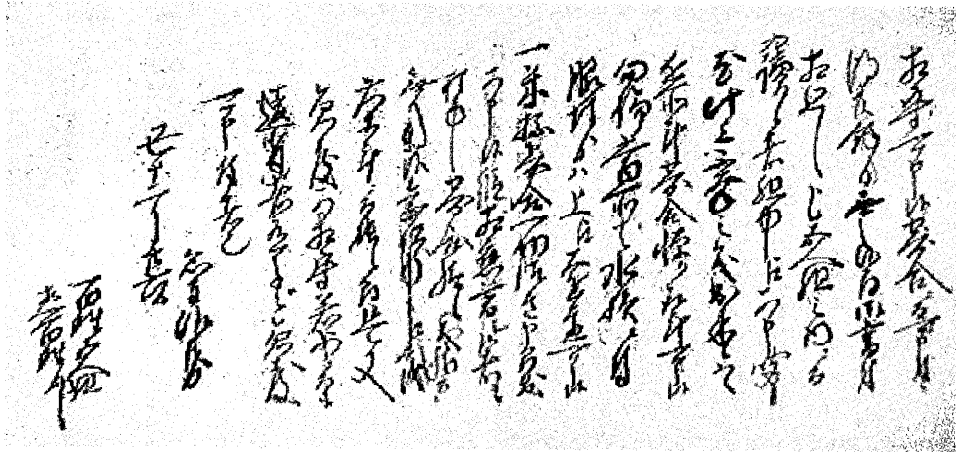
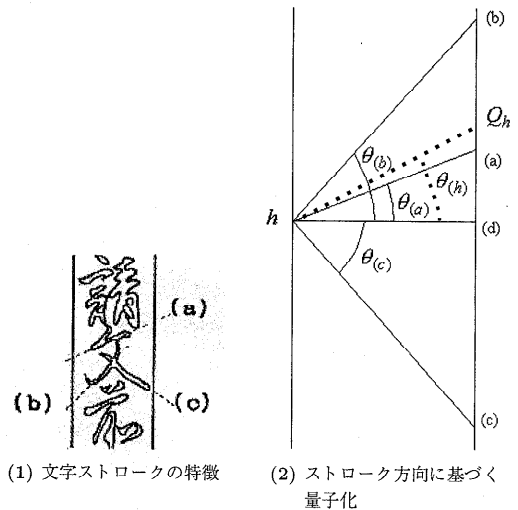


図3 ビデオ撮影した古文書画像例  
Fig. 3 An example of historical document by video image.

筆者らは、古文書が縦書きで一般的には行間に空白領域があることに注目して、テンプレートである基準行の探索範囲を限定し、これにピラミッド探索法とSSDA法を併用する画像の重ね合せ法を提案<sup>6)</sup>した。この手法では、古文書の各行に対する垂直射影ヒストグラムから行間の空白領域を抽出し、これを基準行の探索範囲から除外することによって、照合時間が短縮される。本手法の実験から空白領域を抽出しない場合に比較して、照合に要するCPU時間が約1/10に短縮されることが分かっている。なお、本実験で併用したピラミッド探索法の最上層における密度は、最下位層の1/8である。しかし、本論文で提案しているビデオ動画画像から一定時間間隔でサンプリングした静止画像を再生速度に遅れることなく接続するためには、サンプリング間隔の時間内に入力画像の特徴を抽出し、マッチングを行わねばならない。このマッチングに要する時間のほか、2値化処理、画像描画のための時間が必要になり、前述のSSDA法とピラミッド探索法に空白領域の抽出によって基準行の探索範囲を限定する手法を併用した重ね合せ法のみでは、サンプリング間隔の時間内にマッチングを行うことは困難である。そこで、筆者らは新たに古文書画像の各行におけるストロークの特徴に注目した特徴量に基づく高速マッチング法<sup>9)</sup>を提案した。しかし、マッチングにおける位置合せの基準を文書の天地の縁としたため、撮影条件によっては接続が正しく行われぬ問題が存在した。

3. 改良型高速マッチング法による接続処理

ビデオ動画画像の表示速度に追従する高速のマッチングを実現するためには、(1) 古文書画像の各行ごとの一意な特徴を抽出する。(2) 抽出した特徴から当該行



(1) 文字ストロークの特徴 (2) ストローク方向に基づく量子化  
図4 文字ストロークの特徴と量子化  
Fig. 4 The features in the character strokes and its quantification.

の特徴を量子化する。(3) 量子化情報による基準画像の基準行と対象画像の各行のパターンマッチングを行う簡単なアルゴリズムで、CPUへの負荷を避けねばならない。以上のような理由から、次に示すような古文書画像のストロークの特徴に注目した量子化による特徴量に基づいて、位置合せとマッチングを行う改良型高速マッチング法を提案する。

3.1 改良型高速マッチングの提案

3.1.1 ストロークに基づく特徴量抽出

古文書画像の各行ごとの一意な特徴を抽出するために、古文書に記載された文字列の全般的な筆跡、特にストローク方向に注目して、特徴を抽出する。これを図4(1)に示す。図4(1)の「文」に示すように、(a)

左端から右端にかけて右上がりのストローク, (b) 中心付近から左端に降ろすストローク, (c) 中心付近から右側へのストロークの各々について水平方向との角度に注目する. すなわち, 古文書の各行が一般的に3つのストローク方向に顕著な特徴があり, この特徴抽出によってマッチングに応用できるのではないかということである.

これが実際の古文書画像に適用できるかどうかを調べるために, あらかじめ図3に示した古文書画像について行抽出を行い, 行ごとに前述の3方向, および水平方向の射影ヒストグラムを調べた. 前述の3方向を図4(2)の各々(a), (b), (c), および水平方向を(d)で表す. また, 各行の射影ヒストグラムは, 図4(2)に示す任意の高さ  $h$  から傾き  $\theta = \theta(h)$  の線分上での画素数を計数した値を  $Q_h$  で表す. これらの各方向の射影ヒストグラムによる特徴を比較するために,  $Q_h$  の値のバラツキの度合いを示す指標に変動係数  $CV$  を用いる. 垂直方向の範囲  $h = 1, 2, \dots, H$  ( $H$ : 抽出された行の高さ) における  $Q_h$  の平均値を  $\bar{Q}$ , 標準偏差を  $s$  として, 当該行の変動係数  $CV$  は

$$CV = s/\bar{Q} \quad (2)$$

である. 図3に示す古文書画像全体に対する平均的な変動係数  $CV$  の値は, 図4(2)に示す水平方向(d)で0.504, 方向(a)の  $\theta = 21$  (度)で0.609, 方向(b), (c)はともに水平方向の値以下であった. すなわち, 方向(a)は, 水平方向(d)に比較して, 画像全体にわたり  $Q_h$  の値のバラツキが大きいことを示した. この例を図5に示す. 図5は, 図3と記録者が同一の古文書における右上がり方向と水平方向の射影ヒストグラムである. 図5(b)の右上がり方向の特徴は, 同図(c)の水平方向と比較して右上がりのストロークの特徴を顕著に示しており, 文字列の同定に有効であると期待される. また, 図3におけるストローク方向が  $\theta = 0 \sim 30$  (度)までの変動係数  $CV$  の変化を図6に示す.

以上の結果から, 改良型高速マッチング法ではストロークの右上がりの特徴のみを採用し, 行の特徴量を抽出する閾値として水平方向の標準偏差  $s$  を目安にすることとした.

### 3.1.2 特徴量の計算とマッチング

各文字列の右上がり方向のストロークに注目し, 画素数を計数して量子化する. これを基準画像の基準行, および対象画像上で抽出されたすべての行に対して行う. この量子化を図7に示す. 基準行すなわちテンプレートになる部分画像  $W_T * H_T$  の任意の高さ  $h$  に対する特徴量を  $Q_{Th}$  とするとき

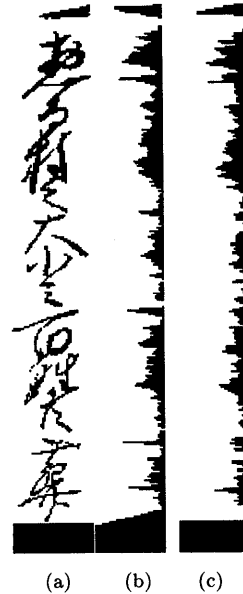


図5 文字列の射影ヒストグラム. (a) 文字列, (b) 右上がり方向の射影ヒストグラム, (c) 水平方向の射影ヒストグラム  
Fig. 5 The histogram of the character string.

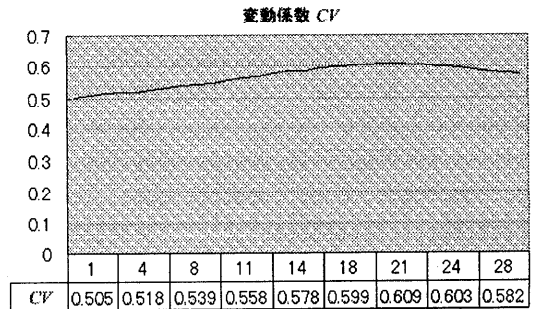


図6 右上がり方向の角度による変動係数の変化  
Fig. 6 Variation of C.V. by the degree of the right side raising direction.

$$Q_{Th} = \sum_{w=1}^{W_T} P_{Th}[w, f(w, h)] \quad (3)$$

$$f(w, h) = w \cdot \tan \theta + h \quad (4)$$

である. ここで,  $\theta$  はストロークの傾き,  $P_{Th}[w, f(w, h)] = \{0, 1\}$  は画素値,  $h = 1, 2, \dots, H_T$  である.

一方, 対象画像は  $n$  行から成るとし, その  $I$  行目に対する画像の任意の高さ  $h$  の特徴量を  $Q_{Ih}$  とするとき

$$Q_{Ih} = \sum_{w=1}^{W_I} P_{Ih}[w, f(w, h)] \quad (5)$$

である. ここで,  $I = 1, 2, \dots, n$ ,  $P_{Ih}[w, f(w, h)] =$

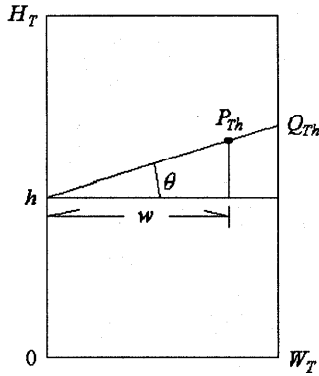


図 7 右上がり方向の量子化

Fig. 7 Quantification for the right side raising direction.

{0, 1} は画素値,  $h = 1, 2, \dots, H_I$  である. 上述のように対象画像には, 基準行と同一行が必ず含まれるものと仮定している.

高速マッチング法は, 基準行の特徴量と対象画像の各行の特徴量を順にマッチングし, 残差が最小になるとき, マッチングされたとする. すなわち,  $I$  行目における残差  $R_I$  を

$$R_I = \sum_{h=1}^{H_T} |Q_{Th} - Q_{Ih}| \quad (6)$$

とする. ここで,  $H_T \leq H_I$ ,  $I = 1, 2, \dots, n$  である. この残差  $R_I$  を最小にする  $I$  を求め, 基準行  $T$  と対象画像の行  $I$  との間でマッチングに成功したと見なす.

以上のように, このマッチング法は古文書の各文字列を量子化した特徴量  $Q_{Ih}$  で表し, テンプレートとなる画像の特徴量  $Q_{Th}$  と比較しマッチングを行うもので, これは SSDA 法において, テンプレート画像と, その面積に等しい対象画像上の任意の部分画像との残差を求める 1 回の作業に相当する.

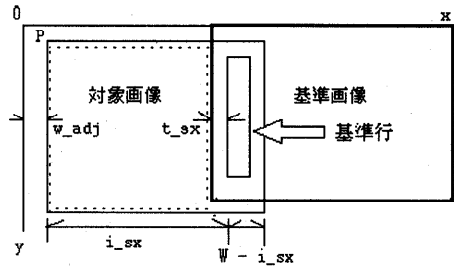
### 3.1.3 位置合せと座標系の一致

基準行  $T$  や対象画像の行  $I$  は, ともにビデオに撮影された 1 行の画像であるが, その左上隅を座標の原点に選ぶ. 一般に両者の上下位置は一致していないから, 前述の式 (6) で示した残差和を求めるためには,  $I$  は  $T$  を基準にして位置合せをする必要がある. これは, 次のように行う.

- (a) 基準画像の  $Q_{Th}$  において,  $Q_{Th} > t$  の条件を満足する位置  $h$  を最上端 (天) から下 (地) 方向に探索する. 探索された位置  $h$  を  $t\_pos$  とする. ここで, パラメータ  $t$  は特徴量を抽出する閾値で, 水平方向の標準偏差  $s$  を目安に,  $0.2 * W_T$  ( $W_T$ :

```

t_pos := 0; i_pos := 0;
t = 0.2*WT;
for h:=1 to Ht do
begin;
  if Qt[h] > t then
  begin;
    t_pos := h; break;
  end;
end;
for h:=1 to Ht do
begin;
  if Qi[h] > t then
  begin;
    i_pos := h; break;
  end;
end;
h_adj := i_pos - t_pos;
w_adj := W - i_sx + t_sx;
upward := 0; downward := 0;
if h_adj > 0 then upward := h_adj;
else downward := abs(h_adj);
SetImage ( i_image, 0, upward, i_sx - t_sx,
           H - upward, w_adj, downward );
(1) 位置合せアルゴリズム
    
```



(2) 対象画像の位置合せ

図 8 位置合せと座標系の一致

Fig. 8 Positioning and the accordance of co-ordinate system.

基準行の幅)を設定している.

- (b) 対象画像の  $I$  行目における  $Q_{Ih}$  において  $Q_{Ih} > t$  の条件を満足する位置  $h$  を最上端 (天) から下 (地) 方向に探索する. 探索された位置  $h$  を  $i\_pos$  とする.
- (c) 位置  $t\_pos$  および  $i\_pos$  から, 式 (6) の残差和  $R_I$  を求める.
- (d) マッチングに成功した場合, 対象画像から接続する部分画像を切り出し, 位置合せを行う.

この位置合せのアルゴリズムを図 8 (1) に, その様子を図 8 (2) に示す. ここで, 特徴量  $Q_{Th}$ ,  $Q_{Ih}$  は, 各々  $Qt[h]$ ,  $Qi[h]$ , かつ  $Ht = H_T$  である. また, 基準画像, および対象画像のサイズはともに  $W * H$  であり, 基準画像の左端から  $x$  方向における基準行の始点までの距離を  $t\_sx$ , 対象画像の左端から基準行とのマッチングに成功した行の始点までの距離を  $i\_sx$  とする. また, 右上がり方向の量子化における図 7 の原点は左下隅であり, 図 8 (2) の基準行の左下隅に対応

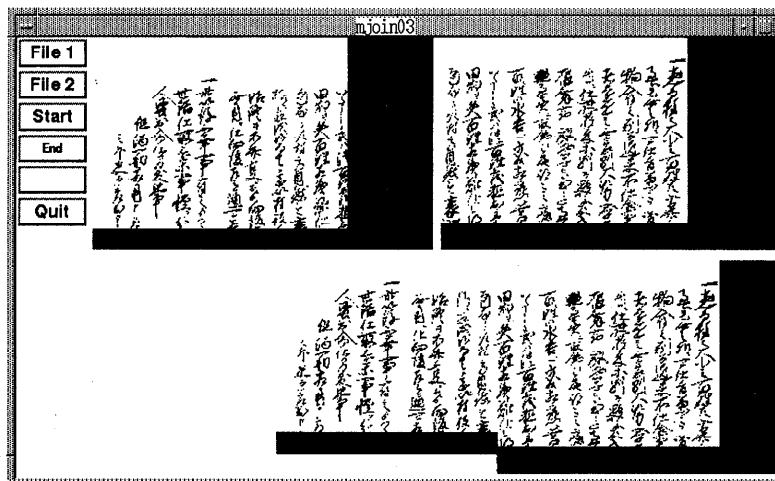


図 9 隣接画像の接続結果の例

Fig. 9 An example for mosaicking two adjacent images.

する。

関数 SetImage は対象画像から接続する部分画像を切り出し、位置合せを行う関数で、アーギュメントは、左から順に位置合せを行う対象画像、対象画像の座標系における  $x$  座標、同  $y$  座標、対象画像から切り出す部分画像の幅、同高さ、基準画像の座標系における位置合せ先の  $x$  座標、同  $y$  座標である。すなわち、位置合せを行う部分画像の点  $P$  における  $x$  座標値は変数  $w\_adj$  の値、同  $y$  座標値は  $downward$  の値である。また、対象画像から切り出された部分画像のサイズは、 $(i\_sx - t\_sx) * (H - upward)$  で図 8(2) の破線で囲まれた部分である。

### 3.1.4 任意の行間距離

提案している改良型高速マッチング法は、古文書画像の各行におけるストローク方向に着目し量子化した特徴量において、基準画像の基準行と対象画像の対応する行との間の残差がノイズを無視すればゼロになることに基づいている。言い換えれば、対象画像上で比較対象になる行とそれ以外の任意の行との間で特徴量に基づく距離が十分ないと誤った接続が行われる。すなわち、古文書全体の行数を  $n$  とするとき、これら任意の 2 行の組合せは  ${}_n C_2$  通りあるが、その各々の行  $p, q$  における 2 行間の距離を  $\delta_{pq}$  とすると

$$\delta_{pq} = \sum_{h=1}^H |Q_{ph} - Q_{qh}| \quad (7)$$

で、 $\delta_{pq} > R_t$  以上の十分な距離を有していなければならない。ここで、 $H$  は行の高さ  $H = (H_p, H_q)_{\max}$  で、 $R_t$  は同一行とは見なさない閾値である。すなわち、マッチングに成功した場合の式 (6) における残差

表 1 隣接画像の接続に対する経過時間の比較

Table 1 Comparison of the elapsed time for mosaicking adjacent images.

方式	従来型重ね合せ法	改良型重ね合せ法	改良型高速マッチング法
所要時間	18 sec	6 sec	1 sec 以内

WS NWS-3150 (主記憶 16 MB, 37 MIPS)

$R_l$  は、 $R_l < R_t$  である。

### 3.2 改良型高速マッチング法による隣接画像の接続実験

改良型高速マッチング法を用いて、互いに隣接する静止画像を接続する予備的な実験を行った。この結果を図 9 に示す。なお、テンプレートとなる基準行は、右上側の画像における最左端から 2 行目の行とした。SSDA 法とピラミッド探索法の併用による従来型重ね合せ法<sup>9)</sup>、射影ヒストグラムにより古文書画像の行間の空白領域に基づいて基準行の探索範囲を限定した手法に従来型重ね合せ法を併用した改良型重ね合せ法<sup>9)</sup>、および改良型高速マッチング法について接続に要した時間の比較は、表 1 のとおりである。なお、これらの 3 実験には、図 9 に示す同一の古文書を用い、すべての実験で接続に成功したものである。

実験結果から、基準行と対象画像に存在する各行の照合が 1 秒以内で行われたこととなり、改良型高速マッチング法の有効性が示された。なお、本実験で用いた隣接する静止画像はともに 2 値化画像であり、図 3 に示した古文書と同一人により記録されたものである<sup>10)</sup>。

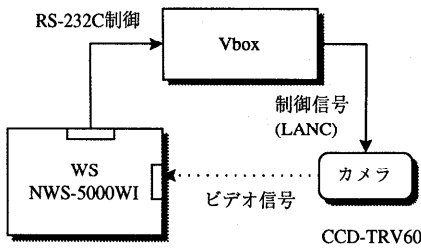


図 10 古文書画像入力システム  
Fig. 10 Configuration of the input system.

#### 4. 古文書画像入力システムと自動接続処理

##### 4.1 古文書画像入力システムの実現

前章で述べた改良型高速マッチング法を組み込んだビデオによる古文書画像入力システムを実現した。本システムのシステム構成図を図 10 に示す。WS 上で動作している自動接続プログラムからビデオカメラ (CCD-TRV60) の再生開始・停止などを直接に制御するため、インタフェース Vbox (CI-1000) を接続している。WS の RS-232C 信号は、本インタフェースを介してビデオ機器の制御信号 (LANC) に変換され、ビデオカメラの再生開始・停止などを制御する。また、ビデオカメラで再生された動画のビデオ信号は、WS NWS-5000WI に搭載されたビデオボード (NWB-1102) に入力している。

自動接続する古文書画像はあらかじめビデオカメラで撮影しておき、そのビデオテープを図 10 のビデオカメラに再生モードでセットしておいた。本システムのプログラム構造は、図 11 に示すようにビデオカメラからビデオ動画をを入力し、表示する部分と、一定時間間隔でフレームメモリ上の動画を静止画像としてサンプリングし、古文書の各文字列の特徴を抽出して、高速マッチングを行う自動接続機構からなる。プログラムは、ビデオ画像を扱うための WS 上のソフトウェア Xlib, Motif, Vbox を制御するための VISCA コマンドを用い、C 言語 (約 1,200 ステップ) で記述している。本システムによる古文書の接続・復元の一画面を図 12 (1) に示す。また、本システムでのパラメータ設定ウィンドウを図 12 (2) に示す。

入力操作は、まず図 12 (1) の左上にある [SetVid] ボタンでビデオテープの頭出しなどの設定を行う。次に [SetPar] を選択すると表示される図 12 (2) に示すウィンドウで、(1) 動画をサンプリングする時間間隔 (単位: ミリ秒), (2) サンプリングした画像を 2 値化する閾値, (3) 高速マッチングで用いる右上がり方向の角度 (単位: 度数) を設定する。[Start] ボタン

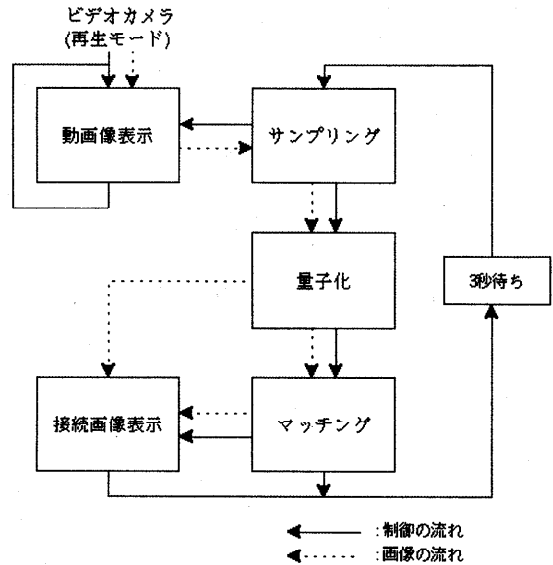


図 11 入力システムのプログラム構造  
Fig. 11 The program structure of the input system.

表 2 自動接続処理の実験結果

Table 2 The result of the experiment for the automatic mosaicking.

ストロークの傾き( $\theta$ :度)	成功	失敗
12 ~ 21*	20 (90.9%)	2 (9.1%)
0	9 (40.9%)	13 (59.1%)

\* 古文書ごとに最適な値を設定

計 22 文書

の選択によって、ビデオの再生画像が左上部分に表示され、自動接続処理が開始される。図 12 (1) の右上部分にサンプリングされたビデオ画像が表示される。先頭の画像が基準画像となる。この画像中の最左端の文字列が基準行として抽出される。この後、一定時間間隔でサンプリングされる対象画像 (図 12 (1) の右上部分) の各行との高速マッチングを行い、その接続・復元結果が図 12 (1) の下半分に表示される。

##### 4.2 自動接続処理の実験結果

実現した古文書画像入力システムを用いて、文献<sup>12)</sup>から無作為に抽出した古文書 22 点を対象に自動接続処理の実験を行った。この実験結果を表 2 に示す。

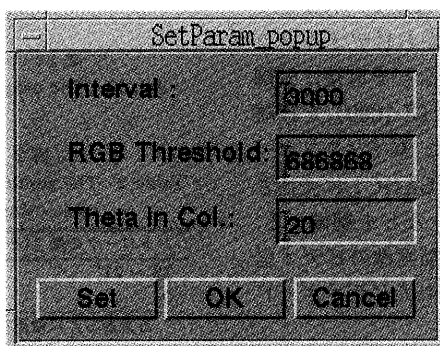
本実験で用いた動画からのサンプリング間隔は、3 秒、2 値化閾値は、図 12 (2) に示す値で固定、右上がり方向の角度は、古文書ごとに 12 ~ 21 を設定した。表 2 では角度の最適結果を採用したものである。

実験結果は、 $\theta = 12 \sim 21$  のケースで 20 件 (全体の 90.9%) について自動接続処理に成功し、このシステムの有効性を示した。また、本ケースでは  $\theta = 0$  の成功率 40.9% に比較して 50.0% 向上し、基準画像と





(1) サンプリング画像と自動接続処理結果の表示



(2) パラメータ設定ウィンドウ

図 12 古文書画像入力システム

Fig. 12 The historical document image input system.

対象画像のマッチングにストローク方向の右上がり特徴を用いることが有効であることを示している。接続に失敗した文書の例を図 13 に示す。この文書では

- (1) ストローク方向における右上がりの特徴が存在しない。各行の  $\theta = 1 \sim 21$  における変動係数は、水平方向が示すそれよりも小さい値であった。
- (2) 文書の任意の 2 行間における互いの距離  $\delta$  は、自動接続に成功した図 3 に示す文書より大であった。したがって、位置合せに成功したとすれば本来正常に接続されねばならない。しかし、前述 (1) の右上がり方向の特徴が検出されないために位置  $i\_pos$  が正しく探索されず不成功になった。

## 5. おわりに

古文書諸資料の画像入力のために、民生用ビデオカ

メラが利用できれば経済的で、かつ手間のかかる諸作業は大いに軽減されるが、十分な解像度や画質を得ることが難しい。本論文では、古文書を撮影したビデオ画像から一定時間間隔でキャプチャした隣接の静止画像を自動接続する方式を示し、この自動接続を行うための改良型高速マッチング法を提案した。

この高速マッチング法では、古文書各文字列のストロークの特徴に注目し、右上がり方向のストロークの画素数に基づく特徴量を利用することによって照合時間が大幅に短縮できることを示した。また、残差逐次検定 (SSDA) 法とピラミッド探索法を併用した従来型重ね合せ法、およびこの手法に古文書文字列の行間に存在する空白領域に基づいて探索範囲を限定した手法を併用した改良型重ね合せ法と比較して、高速マッチング法は接続時間の短縮に有効であることを示した。さらに、高速マッチング法の機能を組み込んだビデオ動画像による古文書画像入力システムを実現した。

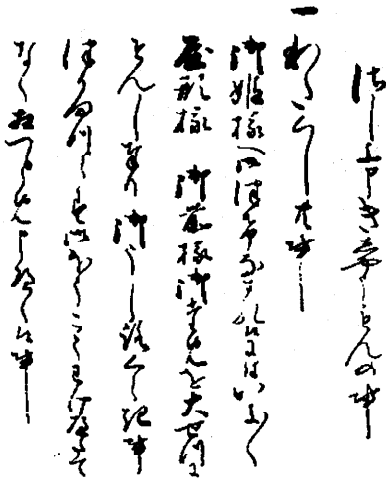


図 13 接続失敗例 (一部分)

Fig. 13 An example of unsuccessful cases.

高速マッチング法のアルゴリズムが簡単であることから、ワークステーションを用いた本システムに基づく実験結果によれば、ビデオ動画像から一定時間間隔でサンプリングした入力画像の接続処理に対してもビデオ画像の再生速度に実時間で十分追従できることが分かった。

なお、重複部分を含む隣接画像の接続処理において、テンプレートである基準行は、接続に要する時間を節減するために重複部分内の最左端に位置する 1 行としているが、これを重複部分内における複数行でマッチングすることにより、その成功率が向上するものと考えられる。また、高速マッチング法において右上がり方向のストロークの特徴量を求める際に、古文書ごとに最適な角度を設定しなければならない。現在の実験システムでは人手によりパラメータを設定しているが、先頭画像の入力直後に 3.1.1 項で述べたように、右上がり方向の各角度に対する特徴量を求め、これから変動係数が最大になる傾きの最適値を求めることが可能である。サンプリング間隔の時間内にこの計算時間が不足するようであれば、WS からビデオカメラの再生を一時停止する制御を行えばよい。この機能を入力システムに組み込むことで個々の古文書に依存した特徴抽出の自動化が図れよう。また、サンプリングしたカラー画像から 2 値化する際の閾値が固定であるため、サンプリングごとに異なる明度やノイズが高速マッチング法の量子化による特徴量を求める際に影響を及ぼす。この 2 値化処理の改善が課題である。さらに、接続される画像の濃度補正、隣接点周辺の濃度の平滑化が必要である。これらも今後の課題である。

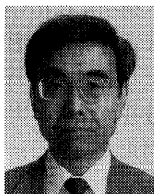
謝辞 古文書資料の提供をいただき、種々ご教示いただいた筑波大学歴史・人類学系岩崎宏之教授に謝意を表す。また、本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた立命館大学理工学部荒木義彦教授、および実験にご協力いただいた荒木研究室の西門正人、富田浩章両君に謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 及川昭文：人文科学とコンピュータ，科学研究費補助金重点領域研究平成 9 年度研究成果報告書 (1998)。
- 2) 岩崎宏之：沖縄の歴史情報研究，科学研究費補助金重点領域研究平成 9 年度研究成果報告書 (1998)。
- 3) 柴山 守，並木美太郎：WWW による大規模マイクロフィルム画像データベースの検索システムの実現，情報処理学会研究報告，Vol.96-CH-32，pp.37-42 (1996)。
- 4) 横山伊徳：史料編纂所歴史情報処理システム SHIPS for Internet，東京大学史料編纂所資料 (1997)。
- 5) 星野 聰：ビデオ機器を用いた画像データベースの作成，京都大学大型計算機センター研究開発部研究発表報告集，第 8 号 (1993)。
- 6) 柴山 守，星野 聰：ビデオによる古文書の効率的画像入力法，情報処理学会研究報告，Vol.92-CH-14，pp.23-30 (1992)。
- 7) 高木幹雄，下田陽久 (編)：画像解析ハンドブック，東大出版会 (1991)。
- 8) 河田悦生，森 克己：空中写真の接続処理に関する検討，電子情報通信学会技術研究報告，IE82-11 (1982)。
- 9) 柴山 守，星野 聰：ビデオによる古文書の効率的画像入力法と自動接続処理，情報処理学会研究報告，Vol.94-CH-01，pp.1-8 (1994)。
- 10) 岩崎宏之氏提供による江戸期「土浦文書」。
- 11) 曾根光男，寺田 聡，坂内正夫：特徴量空間とピラミッド構造を用いた画像の高速重ね合わせ法，電子情報通信学会論文誌 (D)，Vol.J71-D，No.1，pp.102-109 (1988)。
- 12) 日本歴史学会 (編)：演習古文書選続近世編，吉川弘文館 (1994)。

(平成 10 年 6 月 22 日受付)

(平成 11 年 1 月 8 日採録)

**柴山 守 (正会員)**

昭和 22 年生。昭和 45 年立命館大学理学部電気工学科卒業。工学博士。京都大学大型計算機センター、京都大学東南アジア研究センター、大阪国際大学経営情報学部、大阪市立大学商学部を経て、平成 8 年より大阪市立大学学術情報総合センター教授。人文学分野、特に歴史研究へのコンピュータ利用、画像処理に興味を持つ。情報処理学会平成 6 年度山下記念研究賞受賞。電子情報通信学会、日本シミュレーション&ゲーミング学会各会員。

**星野 聰 (正会員)**

昭和 6 年生。昭和 29 年京都大学工学部電気工学科卒業。昭和 34 年同大学院博士課程修了。工学博士。昭和 56 年図書館情報大学教授。昭和 59 年京都大学大型計算機センター教授。平成 7 年停年退職。同大学名誉教授。歴史学および文学への計算機利用、インターネットを利用した国際的文化比較の研究に従事。続日本紀総索引(高科書店)。続日本紀研究会、情報科学技術協会、情報知識学会、人文地理学会各会員。