

# 高精細画像を用いた正倉院文書の調査研究支援

## 自在閲覧システム

安達 文夫<sup>†</sup> 鈴木 卓治<sup>†</sup> 仁藤 敦史<sup>†</sup> 平野 清典<sup>‡</sup> 米村 俊一<sup>‡</sup> 徳永 幸生<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>国立歴史民俗博物館

<sup>‡</sup>芝浦工業大学

正倉院文書は、紙の表裏に記録され繋がれたものが、並び替えられている。これを基の並びに復元する研究を支援するため、表裏を対応させて表示する閲覧システムについて検討した。上下表示、左右表示、単一表の表示モードを設ける。これらの表示モード間の切替と上下表示における画像の反転の際の資料画像とその関連情報の表示法について、利用する研究者にとって如何に使いやすいよう機能の実現法を検討した。また、資料にたわみがあることから生ずる表裏の表示のズレを補正する方法に関し、対応点を文書領域の上辺と下辺に対でとることが必要で、7対以上取れば8割の文書で最大誤差を5pixel以下にできることを明らかにした。

## A Free Viewing System using High-Definition Images for Research of SHOSO-IN Monjo

Fumio Adachi Takuzi Suzuki Atsushi Nito<sup>†</sup>  
Kiyonori Hirano Shunichi Yonemura Yukio Tokunaga<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>National <sup>†</sup>Museum of Japanese History

<sup>‡</sup>Shibaura Institute of Technology

SHOSO-IN Monjo (ancient documents) has records written on both side of its papers. The documents were kept in a firm of scrolls, but their rows were changed in modern age. A viewing system has been studied to support restoration researches of the documents. The system has up/down and left/right display modes that show both sides of a document and has a single display mode. Transition of screen at a change of display mode and turnaround of an image has been investigated to realize simple operation. A display error between front and back side images is occurred causing by flexure of a document. A method to reduce the error has also been discussed.

### 1. はじめに

正倉院文書は、奈良時代前期に諸国からの報告が記された紙の裏側に、奈良時代後期にかけて東大寺における写経事業の記録が帳簿として記され、正倉院に残されたものである。これらが記録された料紙は繋ぎ合わされ、卷子あるいは一部は冊子の形で保管されてきた。幕末および明治になって、公文と呼ばれる印が押された箇所を中心とした整理が行われ、並びが入れ替えられ現在に至っている。正倉院文書研究において、料紙の前後関係を正しくして記された内容を読み解くため、元あった並びに復元するこ

とが大きな課題となっている。一応の並び順は明らかにされているが、確度を高めることが求められている。文書の接続関係の確認は、表裏の一方を見て行うことができる。しかし、表と裏を同時に見て繋がりを確認の方が確度が高い。また、記録された時期の同定にも表裏の対応は有効である。

正倉院文書の研究は、紙焼きの写真の基に行われてきた。800巻にも及ぶ正倉院文書の様々な箇所を自由に見るには、電子的な閲覧システムが望まれる。これを目指したシステムとしてSOMODAが提案され[1]、Webで公開されている。しかし、文書の表裏を対応させて表示する

機能までは有していない。

これまで文書の表裏の突き合わせを、それぞれの写真を探ることから始めていた作業を効率的に行うには、表値を対応させて同時に表示するシステムが有効と考えられる。この調査研究を支援するシステムとして非常に高精細な画像を適用した閲覧システムの構築を目指した。国立歴史民俗博物館として、研究成果の一般への公開として、展示に供することを考慮し、本研究支援システムの機能として展示にも利用できるよう考慮した。

本システムは、国立歴史民俗博物館での展示や資料研究に実績のある閲覧システム[2]を基として、2章で詳しく述べるとおり、文書の表裏の一報を上下反転して上下に並べて表示する上下表示、表裏とも正位で横に並べて表示する左右表示、表裏の一報を画面一杯に表示する単一表示の3つの表示モードを設けている。上下表示では、倒立した画像を入れ替える反転の機能を設けている。

この閲覧システムを構築する上で、二つの点が課題となった。一つはシステムの使いやすさに関わる事項で、上記の表示モードの切り替えと画像の反転の際に、従来の研究手法の流れに沿って、利用する研究者に分かり易く表示するかという課題である。もう一つは、どちらかと言うと展示の際に求められる機能である。文書の表裏は本来完全に対応し、これらの表示にズレは生じない。しかし、資料にたわみがあることから、分割撮影した写真を基に作成した画像では、表裏のズレが避けられない。高精細な画像を適用する場合、拡大するとこのズレが無視できなくなり、表示誤差となる[3]。このため、何らかの補正を必要とする。

本稿では、表示モードと画像の反転に関する画面遷移を中心とした正倉院文書の調査研究支援自在閲覧システムの機能実現法と、表裏の表示誤差を補正する方法について検討結果を述べる。

## 2. 基本機能と画面構成

### 2.1 基本機能

正倉院文書の調査研究支援自在閲覧システムには、以下の理由により、上下表示、単一表示、左右表示の表示モードを設けた。紙焼きの写真による調査研究において、表裏の一方を倒立して、上下に並べて付き合わせるが行われている。研究者が慣れている方法と同等の表示として上下表示を設ける。ここでは、倒立した画像と正位の画像とで見るため、表裏の表示の関係を入れ替える反転機能を設ける。上下表示では、資料画像を表示できる画面上の領域が小さい。広い範囲であるいは大きく読み取れるよう、表裏の一方だけを表示する単一表示を用意する。裏写りした文字を見るには、上下反転せずに表示する方がよいという研究者からの意見がある。また、展示で一般の人に提示する際には、反転しない方が分かり易いと考えられる。このため、左右表示を設ける。

上下表示と左右表示は表裏が対応するよう連動して表示する。すなわち、上下表示では、資料画像の左右の移動に対して表裏同方向に、上下の移動に対して表裏逆方向に移動する。左右表示では、資料画像の左右の移動に対して表裏逆方向に、上下移動に対して同方向に移動する。

以上、三つの表示モード間で、図1に示すように、相互に画面遷移する。

### 2.2 画面構成

各表示モードの画面構成を図2に示す。画面全体の上または左上が、資料画像を表示する主画面である。全ての表示モードにおいて、主画面の下に、文書全体を表示し、その上に主画面に表示される箇所を示す全体マップと、画面右

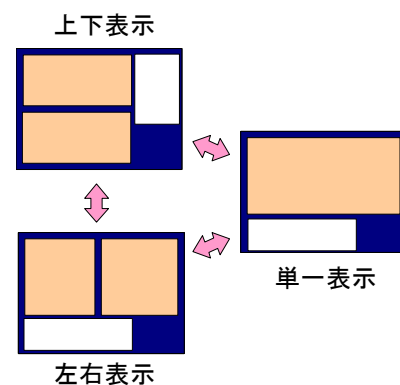
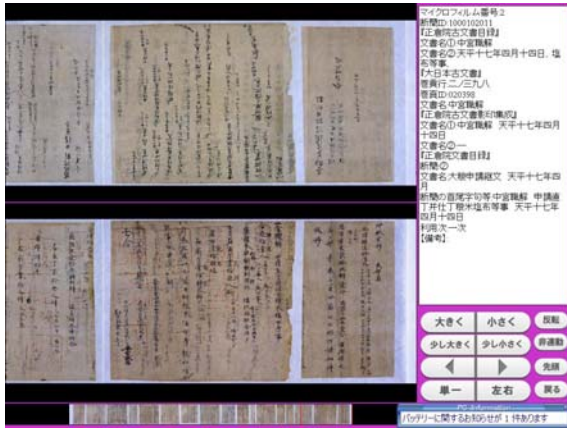


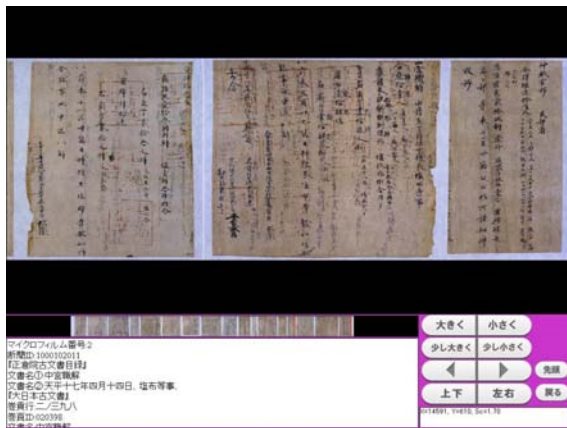
図1 表示モード間の遷移



(a) 上下表示



(b) 左右表示



(c) 単一表示

図2 研究支援自在閲覧システムの画面構成  
 (画面中の資料：正倉院文書正集第一巻複製  
 (国立歴史民俗博物館蔵，現品：宮内庁正倉院  
 事務所蔵))

下に場面制御ボタン群を配している。上下表示では主画面の右，左右表示と単一表示では全体マップの下の領域は，主画面に表示される画像に応じた説明を表示する解説表示エリアである。

本研究支援自在閲覧システムは，展示向けのシステムを元にしており，全画面表示を基本としている。但し，画面配置の変更は比較的自由であり，ディスプレイの解像度に合わせた設定が可能である。図2は，ノート型を含めた多くのPCが有すると考えられる1024×768のサイズにおける画面である。主画面の縦の大きさは，上下表示が360pixel，左右表示と単一表示が554pixelである。

### 2.3 基本動作

本閲覧システムの本稿に関連する基本的な動作について記す。画面制御ボタン群を，上下表示を例に，図3に示す。主画面に表示される画像を2倍，1/2倍にする拡大，縮小ボタン，小刻みな倍率変更を行う微少拡大，微少縮小ボタンと左および右へ横移動する矢印ボタンが基本となる。その他，表示モードの切り替えボタンや画像の上下の反転ボタンを配している。

表示される資料画像の移動は，主画面上のドラッグでもできる。主画面のダブルクリックで画像が2倍に拡大する。全体マップのクリックで，その点が主画面の中心となるよう移動できる。

全体マップと解説表示エリアには，表と裏の

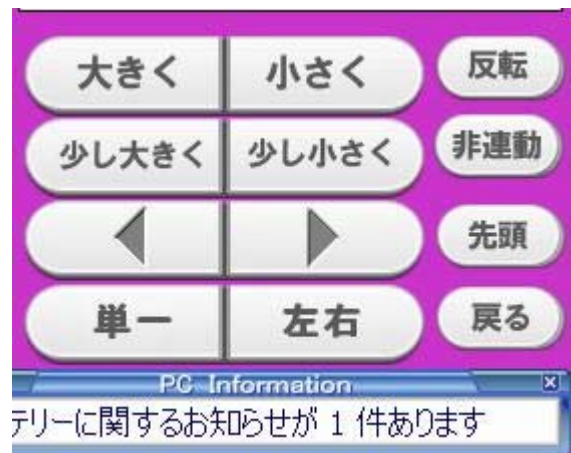


図3 制御ボタン群の構成

どちらかの情報を表示することになる。上下表示と左右表示において、主画面上の操作をする際に、操作側の画像の情報を表示することが使いやすい。そこで、最も新しく操作があった主画面をフォーカス画面として管理し、これを基に、全体マップと解説表示エリアの表示を行う。

### 3. 画面遷移

三つの表示モード間の切り替えと上下表示の画像反転において、表裏の画像をそれぞれの主画面に適切に表示しないと、遷移後の画像の移動が分かりづらいシステムとなる。また、画面遷移時の全体マップと解説表示エリアの表示も分かりやすいフォーカス画面の管理が求められる。以下に、これらの画面遷移の際の動作について検討する。

#### 3.1 主画面表示

##### (1) 画像の反転

左右表示では、表裏を表示する主画面は固定の方が分かりやすい。文書研究の慣例から、表を左側に表示する。一方、上下表示では、反転の際に、表裏の画像とこれを表示する主画面の関係を定める必要がある。これには二つの方法が考えられる。一つは図4(a)のように、表裏を表示する主画面は固定しておき、その中で反転する方法がある。もう一つは、同図(b)のように、下側が正位となるように固定し、表示する画像を入れ替える方法である。従来の写真による手法に倣うことが分かり易く、後者の方法とする。

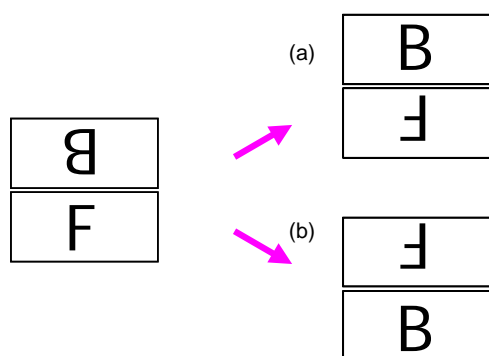


図4 上下表示における画像反転

##### (2) 表示モードの切替

表示モードの切替において、左右表示から単一表示では、切替え前にフォーカス側の画像を単一表示することが分かり易い。この逆の切替えは、表示する主画面が固定のため問題はない。

上下表示から単一表示への切替において、上記と同様に、フォーカス側であった画像を単一表示することが考えられる。この場合、逆方向の切替は、上下表示の元の位置に画像を表示することが適切であろう。しかしながら、単一表示に切り替えて長時間閲覧した後、切り替えるような場合では、上下の主画面のどちらに表示されたか分からなくなる。単一表示から切替後に表示する画面は、上下の一方に固定する方が分かりやすい。単一表示への切替後に表示する画像も上下で固定の方が統一性がある。具体的には、画像が正位で表示される下側の主画面と単一表示の画像が同一となるよう切替を行う。

上下表示から左右表示への切替は、表示する主画面が固定なので問題はない。左右表示から上下表示への切替えは、左右表示でフォーカスされていた画像を、正位で表示される下側の主画面に表示することが適切と考えられる。

#### 3.2 フォーカス画面

##### (1) 画像の反転

上下表示の画像反転において、フォーカスの切替えは行わないことが考えられる。この場合、全体マップと解説表示エリアの表示は変わらないことから、反転を繰り返すと、表裏の画像が上下の主画面のどちらに表示されているか分からなくなる状況が生ずる。このため、反転があった場合は、正位で表示される下側の主画面をフォーカス画面とすることが分かり易い。

##### (2) 表示モードの切替

表示モードの切替において、全体マップと解説表示エリアの表示は変わらない方がよい。このため、単一表示から左右表示および上下表示では、単一表示していた画像を表示する主画面をフォーカス側とする。

左右表示から上下表示への切替も、フォーカス関係が変わらないようにすればよい。この逆の上下表示から左右表示においては、単一表示への切替えの画像の表示に倣い、上下表示で正

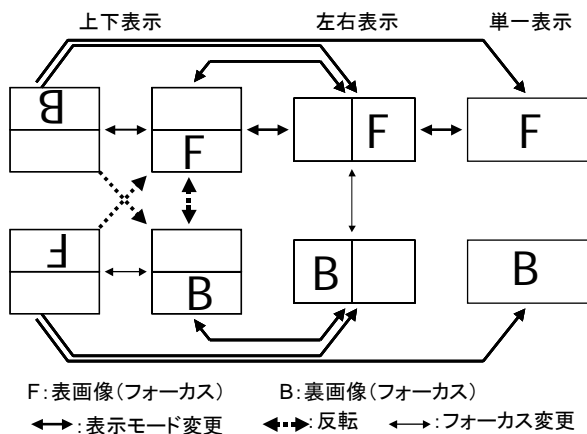


図5 表示モード切替と画像反転の画面遷移

位で表示されていた画像を、左右表示のフォーカス側とすることが適切であろう。

以上の画像の反転と表示モードの切替の全体の画面遷移図を図5に示す。ここでは、フォーカス画面に記号F(表)、B(裏)を書き入れている。

#### 4. 表裏の表示誤差補正

##### 4.1 表裏画像のズレの状況

本閲覧システムに適用する画像は、国立歴史民俗博物館が所蔵する正倉院文書複製(原品は宮内庁正倉院事務所所蔵)を分割撮影した写真を基にした64BasePhoto CDに納められた画像データをトリミングし、一巻が一つの画像となるよう接合して作成している。資料画像の縦の大きさは、撮影条件等が一律でないため、巻によって多少異なるが、およそ1,200pixelである。横は長いもので26,500pixelである。画像の接合に当たって、表裏が対応するよう接合している。横方向には大きなズレは生じていない。しかし、資料が横に長く、たわみがあるため、極端に図示すると、接合した表裏の画像で図6のような縦方向のズレが生ずることが避けられない。同図は片方を裏返して重ね合わせた状態で示している。正倉院文書正集の全45巻について見ると、右端を合わせたときに、左端で最大110pixel程のズレが生じている。

このような画像を表裏対応させて表示すると、

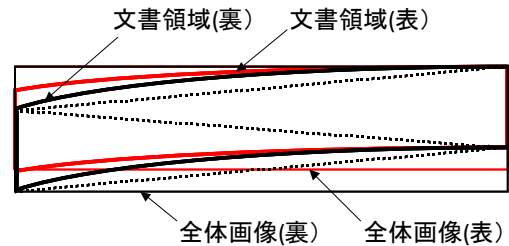


図6 資料画像のズレの様子

特に左右表示においてズレが目立つ。ズレが数10pixelのとき、文書の縦を主画面の縦一杯に表示する倍率ではズレは目立たないが、拡大して、原画像の倍率で表示すると、主画面の縦の0分の1弱の大きさとなるからズレに気付くようになる。このため、何らかの表示の補正が必要となる。

##### 4.2 補正方法

表示のズレの補正は、基本的に次の方法による。表裏の画像で対応する点を4点以上取る。対応点を頂点とする三角形を構成し、表裏対応させる。三角形の内側は線形な対応関係があるとし、一方の主画面の中心に当たる資料画像の座標から、他方の主画面の中心に表示すべき資料画像の座標を算出し表示する。

文書の画像では、画像全体の四隅と画像中の文書領域の右端と左端の上下に、計8点の対応点を取ることが考えられる。図6の場合、画像と文書領域の右上と左下の点はそれぞれに重なるから6点である。このときの裏側の三角形分割を波線で示す。この場合、文書の両端では表示誤差はなくなるが、横長の資料の途中で表示誤差が残る。正集45巻の中で60pixel程の表示誤差が残るものがある。さらに表示誤差を抑えるには、文書の途中に対応点を取る必要がある。

対応点を設定する手間を考慮すると少ない方がよい。しかし、1点だけの追加では、例えば図6において、画像の上方あるいは下方の少なくとも一方に構成される三角形は変わらないから、表示誤差は改善されない。そこで、横方向の座標が同じ文書領域の上辺と下辺に対応点を対で取ることを前提とする。

##### 4.3 対応点对の数と表示誤差

対応点を取る方法として、表示誤差が目立つ

箇所の上辺と下辺に取り，これによっても，表示誤差が目立つ場合は，さらにその箇所に対応点対を取ることを繰り返す方法が実際的であろう．このような方法で，対応点対の数をどの程度取ればよいか，対応点を取る位置の程度はどの程度要求されるかを明らかにしておく必要がある．適切な評価を行うため，横に長い資料画像に対応点を取って三角形分割するときの表示誤差の性質について，簡単なモデルを基に明らかにし，表示誤差をある値以下に抑えるために必要な対応点対の数について検討する．

#### 4.3.1 表示誤差の性質

表示誤差の性質を見るための簡単なモデルとして，文書領域の形状が，表は平行四辺形，裏は上辺と下辺が曲線である図7の画像を考える．これに近いズレを持つ資料画像が実際に存在する．同図において，表と裏それぞれの四角形ABCDが文書全体の画像，EBFDが文書領域である．文書領域の横の長さは表裏同一で，縦の高さも位置によらず表裏同一とする．これらを  $a$  および  $b$  とする．全体画像と文書領域の両端での縦の大きさの差を  $c$  および  $c'$  とする．

##### (1) 表示誤差の表裏および縦の位置との関係

図7に，全体画像と文書領域の四隅に対応点を取ったときの三角形分割を波線で示す．表の形状は平行四辺形であることから，分割された三角形の一部の辺は文書領域の上辺と下辺と重なる．左端から距離  $x$  の位置にある裏側の文書領域の上辺の点を  $G$ ，表側の上辺に相当する線分  $ED$  上の点を  $H$  とする．この二つの点の差を  $d$  とする．

表側のの上辺の距離  $x$  の点が主画面の中心にあるとき，裏側の主画面の中心には点  $G$  が表示されるべきところで，点  $H$  が表示される．このときの表示誤差は  $d$  となる．表側で左端から距離  $x$  のまま，縦に移動したときの誤差は， $d$  と変わらない．

以上は，表側を基準としたときの裏側の表示誤差である．逆の場合について検討する．距離  $x$  における裏側の点  $G$  からの距離が  $y$  の点について考える． $y \geq d$  のとき，この点が裏側の主画面の中心にあるとき，表側の主画面の中心には文書領域の上辺から  $y-d$  の点が表示されるから，

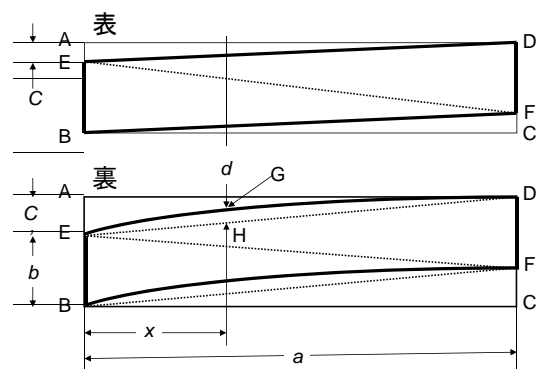


図7 全体画像と文書領域の四隅に対応点を取ったときの三角形分割

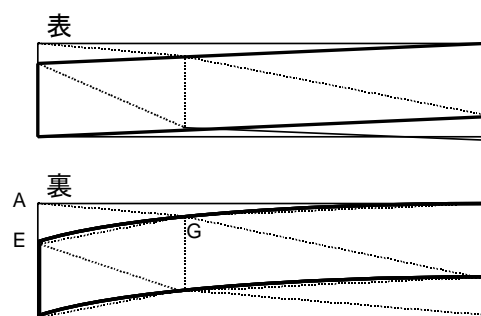


図8 対応点を1対追加したときの三角形分割

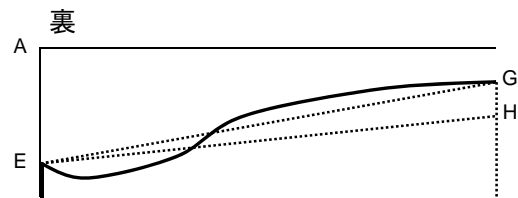


図9 上図の拡大図

表示誤差は  $d$  となり，前記と同一である．一方， $y < d$  のとき， $G$  から縦方向に距離  $y$  にある点が裏側の主画面の中心にあるとき，表側の主画面の中心には資料画像の上辺からの縦の距離が

$$(c'(a-x)/a-d+y)c/c'$$

の点が表示される．本来表示されるべき点の上辺からの距離は

$$c(a-x)/a+y$$

であるから，表示誤  $err$  は

$$err=(1-c/c')y+c/c'd$$

となる．このように，表示誤差は，表と裏のどちらを基準とするかにより異なる．また，文書領域の上辺と下辺でも異なる．

##### (2) 対応点対追加の影響

図7の裏側の点Gと、これと対となる下辺の点、並びにこれらに対応する表側に対応点対を取ったときの三角形分割を図8に示す。この三角形AEGの付近を拡大したものを図9に示す。この図では、図7において点Hを通る分割された三角形の辺上の線分EHを示すとともに、文書領域の上辺を変曲点がある曲線としている。

図9のように、対応点対を追加する前の三角形分割の線分EHと文書領域の上辺が交差している場合、対応点を追加した三角形分割による辺EGと文書領域の上辺との縦の距離が、線分EHと上辺との縦の距離より増加する区間が生ずる。このように、対応点対を追加すると、条件によっては表示誤差が増加する場合がある。

#### 4.3.2 表示誤差の評価

##### (1) 評価の前提

表示誤差の評価の目的は、どのくらいの対応点対を取ると表示誤差がどの範囲に収まるかの目安を得ることである。また、表示誤差の補正は、資料全体の平均的な誤差ではなく、ズレが目立つ箇所の誤差を抑えることを目的とする。そこで、最大誤差に着目し、対応点対を次のように取って評価を行う。

対象とする資料画像全ての表裏に対し、文書領域と文書外領域の境界を上辺と下辺について、横方丈の座標全てについて求める。このとき境界として、図2に見られる料紙とその上および下の撮影時に背景とした白布の境とすることが適切である。しかし、縦横比が極端に異なる画像であることから、誤差の最大と次に大きい値との差が小さく、料紙間の段差が、誤差が最大となる箇所の算出に影響を与える。このため、料紙の上下の白の部分を含めて文書領域とみなし、画像としての黒い背景との境界を求めた。

この境界の座標データを基に、全体画像と文書領域の各四隅に対応点を取った場合の表側を基準とする裏側の表示誤差を文書領域の上辺と下辺について、横方向全座標に対して求める。この中で誤差が最大となる点の上辺と下辺に対応点を取る。このとき、誤差が最大となるのは1点ではなく、連続した区間となることが多い。この場合は、区間の中心に対応点を取る。以下、表示誤差が最大となる点に対応点対を取ること

を繰り返す。但し、対応点対を追加することにより誤差が増加することがあるため、最大表示誤差が所定の値以下になったところで追加を停止する。

対応点対を取る実際の操作において、基準が表と裏で表示誤差が異なることを考慮することは実際的ではない。そこで、表裏の違いを考慮した処理は行わない。

##### (2) 評価結果

全体画像と文書領域の四隅以外に追加する対応点対の数に対する。各資料の最大誤差の評価対象史料全てに関する平均値と最大値を図10に示す。資料画像を拡大した際にも表示誤差が目立たないように10ないし5pixel以下にするには、平均的には2あるいは7対の対応点を取ればよいことが分かる。但し、同図の最大に見られるように、誤差がなかなか収まらず20対を要する資料もある。

最大表示誤差をある値以下にするために必要な最小の対応点対数を分布として見るため、評

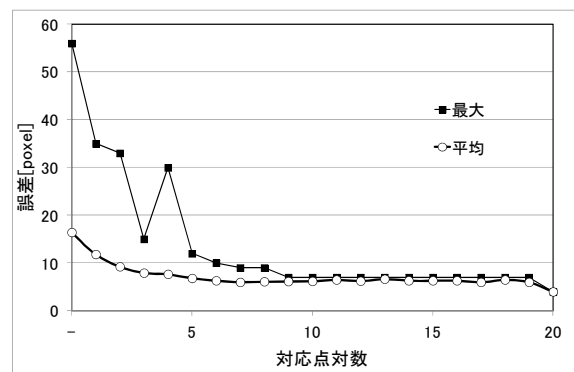


図10 追加対応点対数に対する最大表示誤差

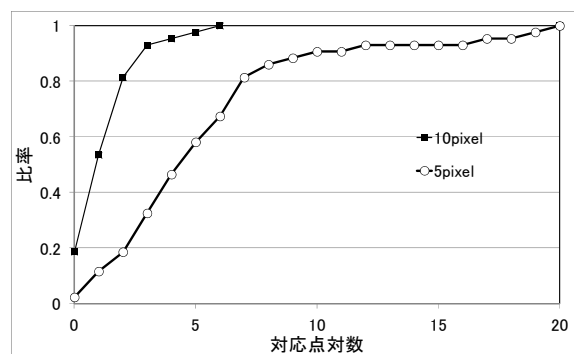


図11 最大表示誤差の累積分布

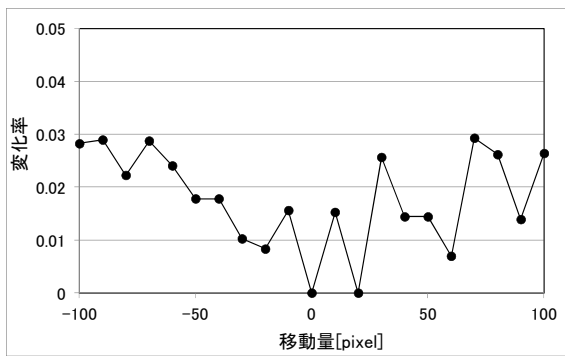


図 12 対応点对の位置の移動量に対する最大表示誤差の変化率

価対象資料全てについてこの数を求め、累積分布として表したものを図 11 に示す。8 割の資料で、対応点对を 2 あるいは 7 取れば、最大表示誤差を 10 ないし 5pixel 以下にすることができる。

画像全体と文書領域の四隅に対応点を取った状態で、1 対の対応点を上記による所定の位置からずらして取ったときの最大表示誤差の変化率を図 12 に示す。但し、対応点对を所定の位置から移動したときに、対応点对を追加した後の最大表示誤差は増加する場合と減少する場合があるため、所定の位置での最大表示誤差との差の絶対値を所定の位置での最大表示誤差で割った比率を求め、対象資料全体の平均で表している。対応点对を取る所定の位置か左右に 100pixel ずらしても、最大表示誤差の変化率は 3%程度であり、対応点对をその位置に関して厳密に取る必要はないことが分かる。

## 5. むすび

正倉院文書の表裏の画像を対応して表示できる調査研究支援自在閲覧システムに関し、表示モードの切替と上下表示における画像の反転の画面遷移を中心に、利用する研究者にとって使いやすい機能実現法について検討した。また、資料にたわみがあることから生ずる表裏の表示のズレを補正する方法に関し、対応点を文書領域の上辺と下辺に対でとることが必要で、8 割の資料に対し、2 対で最大表示誤差を 10pixel

以下、7 対で 5pixel 以下にできることを明らかにした。

本システムは人間文化研究機構の連携研究「正倉院文書の高度情報化研究」の中で試用されている。また、国立歴史民俗博物館の 2014 年秋の企画展示で公開が予定されるとともに、同館の総合展示において使用の計画がある。本稿の表裏の表示誤差補正は、科学研究費補助金基盤研究(B)課題番号 23300332 の研究成果による。

## 参考文献

- [1] 後藤 真, 柴山 守, “正倉院文書復原過程の XML/XSLT による記述(<特集>人文科学における情報知識処理),” 情報知識学会誌, 11(4) 2-16, 46 (2002).
- [2] 安達文夫, 鈴木卓治, 徳永幸生, “超高精細画像自在閲覧方式の利用記録による評価,” 国立歴史民俗博物館研究報告, vol.1178, pp.237-259 (2013).
- [3] 平野清典, 安達文夫, 徳永幸夫, 米村俊一, “正倉院文書の表裏比較表示における対応点の設定方法の検討,” 情報処理学会第 75 回全国大会講演論文集, 5ZF-4, pp.4-835-836 (2013).