

古代木簡に対する平滑化処理の適用および 古代木簡解読支援システムのアップデート

末代 誠仁
桜美林大学

白井 啓一郎
信州大学

遠藤 友樹

中川 正樹
東京農工大学

馬場 基
奈良文化財研究所

渡辺 晃宏

井上 聡

久留島 典子
東京大学史料編纂所

本稿では、古代木簡画像から抽出した字形に対する画像平滑化処理の適用、および近年のコンピュータの進歩に合わせた木簡解読支援システム Mokkanshop のアップデートについて述べる。画像平滑化処理は、紙媒体の古文書に対する効果が明らかになっている。本研究では、古代木簡から抽出した画像に対する実験の結果を示す。Mokkanshop のアップデートについては、近年登場した高解像度画面とタッチパネルを持つ Ultrabook での動作を想定したものである。アップデートの内容には、すでに動作可能な実装だけでなく、実装に向けた設計も含まれている。これらによってアップデートした解読支援システムのデモンストレーションはシンポジウム内のプレゼンテーションとして実施する。

Adaptation of normalization process to historical mokkan images and update of support system to support reading historical mokkans

Akihito Kitadai
J. F. Oberlin University

Keiichiro Shirai
Shinshu University

Yuki Endo

Masaki Nakagawa
Tokyo University of
Agriculture and Technology

Hajime Baba
Nara National Research Institute
for Cultural Property

Akihiro Watanabe

Satoshi Inoue

Noriko Kurushima
Historiographical Institute
The University of Tokyo

This paper presents adaptation results of our normalization method for character pattern extracted from historical mokkans, and updates of the system for recent computing environments. The effects of normalization method for character pattern images from paper historical documents have been shown in our previous researches. This paper shows the results of the method for character pattern images from historical mokkans. The updates are to support recent computers called “Ultrabook” with high-definition touch panel displays. The contents of the updates contain both executable implementations and designs for implementation. The updated system will be demonstrated at the presentation in this symposium.

1. まえがき

直観的で高精度な木簡解読支援システムの実現は、筆者らの研究の大きな目標である。

Mokkanshop は、筆者らが古代木簡解読支援を目的として開発してきた情報システムである[1]。中核となるのは古代木簡デジタルアーカイブ「木簡字典」と連携した字形検索機能である。

筆者らは、字形検索機能の高度化を目指した技術を開発して Mokkanshop に実装し、その有効性を高める取り組みを行ってきた。字形の正確な形状情報が不明な場合に、曖昧な部分をグレースケールとして指示するグレースケール法もその 1 つである。グレースケール法は、グレーの濃度を適宜変更することによる絞り込み検索もユーザに提

供する。筆者らは、この技術およびグレースケールの濃度を変更することで絞り込み検索を可能にするユーザインタフェースを Mokkanshop に実装し、その有効性を明らかにしてきた。

本稿で述べる字形画像の平滑化技術もまた、Mokkanshop への実装を視野に入れて筆者らが開発を進めてきた技術の 1 つである。一般的な画像平滑化技術には、ノイズ除去を優先すると画像中の図形本来の形状までぼやけてしまう点が問題となる。筆者らが開発した技術は、量子化ノイズを軽減する距離画像化、および字形本来の形状を推定しつつノイズの除去を行う異方性拡散を組み合わせることで、この問題の軽減を図っている[2]。筆者らは、紙媒体の古文書を用いた実験によってこの技術の有効性を明らかにしてきたが、

この技術を Mokkanshop にも実装することで古代木簡を対象とした字形検索の精度と有用性を高めるのが本研究の狙いの1つである。

この他にも、筆者らは Mokkanshop の有用性を高めるための様々な研究を行ってきた。その成果の中には、現実的な動作環境が整わないために実装を中断した技術も存在する。例えば、Mokkanshop の機能を直観的に理解・操作する上で優れるタイリングウィンドウ方式のユーザインタフェースは、これまで Mokkanshop が主たる動作環境としてきたペンデバイス付き Tablet PC の解像度の制限により実装が困難な状態が続いていた[3]。しかし、近年登場した Ultrabook と呼ばれるノート型 PC の中には、高解像度の液晶画面、および電子ペンに近い操作性を実現したタッチパネルを搭載したモデルが存在し、その普及が進んでいる。こうした最新の環境に合わせた実装を Mokkanshop に施し、有用性を高めることが本研究のもう1つの狙いである。

2. 古代木簡解読支援システムの現状

ここでは、本稿で述べる平滑化処理およびアップグレードの対象となる古代木簡解読支援システム Mokkanshop について述べる。

Mokkanshop は、Windows 上で動作する古文書解読支援システムである (図1)。



図1 古代木簡解読支援システム Mokkanshop の GUI

Figure 1 GUI of Mokkanshop.

Mokkanshop は、古代木簡のデジタル画像に含まれる字形の抽出・視認性向上のための画像処理機能、抽出した字形を古代木簡デジタルアーカイブ「木簡字典」に登録された字形などと比較し、類似字形を検索し、その結果を用いて木簡字典の情報を表示する字形検索機能、解読結果および解読作業によって得られた様々な情報を保存・管理する積文管理機能など、古代木簡解読を支援するための様々な機能を有している。

画像処理機能では、汚損・経年変化した木材と墨にフォーカスした画像処理を実現、実装することで、簡便な操作で高精度な字形の抽出を可能と

している。また、字形検索機能ではグレーゾーンを指定することで字形が曖昧な部分の自動推定および絞り込み検索を提供している (図2)。



図2 木簡字典と Mokkanshop による画像処理と字形検索

Figure 2 Image processing and character pattern retrieval using Mokkanshop and Mokkanjiten.

字形検索機能は、画像処理機能によって抽出された字形をキーとする情報検索機能であり、その

精度は字形検索機能の性能に大きく左右される。筆者らは、古文書解読を行う専門家が操作に注意を削がれない範囲で有効な字形抽出を行えるように、6種類の画像処理技術を提案・実装した[1]。この処理は、いずれも単一のパラメータをスライダーバーによって調整するだけの操作で字形の抽出が可能となる(図3, 図4)。

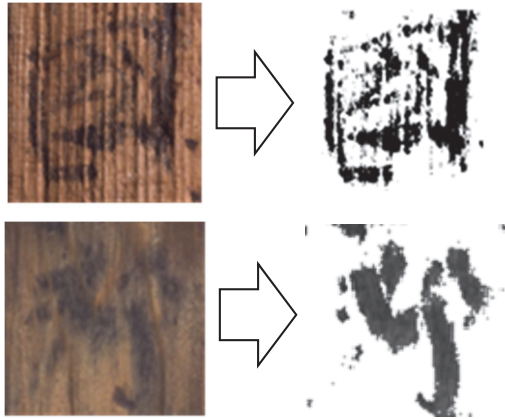


図3 Mokkaanshop を用いた画像処理例
Figure 3 Results of image processing by using Mokkaanshop.

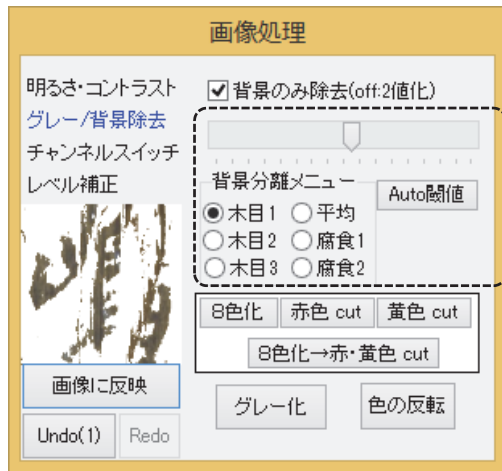


図4 画像処理用のGUI
Figure 4 GUI of image processing.

表1に、奈良文化財研究所で現在配布を行っている Mokkaanshop の動作環境を示す。

表1. Mokkaanshop (アップデート前) の動作環境
Table 1. Requirements to use Mokkaanshop (without updates)

OS	Windows Vista / 7 (32bit)
メインメモリ	1GB 以上
画面解像度	XGA 以上

3. 平滑化処理の適用

ここでは、古代木簡画像に対する平滑化処理の適用について述べる。

前章で述べた画像処理は、古代木簡の表面に残存する墨を抽出するための手段である。汚損、経年変化が著しく、墨自体が失われている場合、および木簡の表面が強く黒ずんで墨との判別が困難な場合は、画像処理による字形抽出の精度は望めない。

同種の問題は、経年変化が進んだ紙媒体の古文書でも発生する。筆者らは、画像処理によって抽出されたノイズを含む字形(2値画像)に対して、距離画像への変換と異方性拡散による平滑化を施してから2値画像に逆変換する平滑化手法を提案し、その有効性を示した(図5) [2, 4-7]。

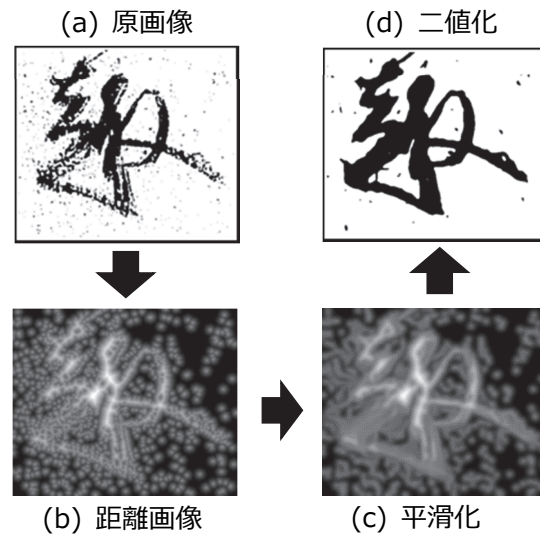


図5 距離画像変換と異方性拡散による平滑化
Figure 5 Normalization by anisotropic diffusion and geodesic morphology.

この平滑化処理の入力は2値画像であり、明度・彩度によって字形とノイズを判別するのが難しい画像を扱うのに適している。距離画像に対する異方性拡散では、1次・2次微分による画素値の勾配検出を行い、筆跡が持つ周囲画素との関係を修復しながら離散的なノイズを除去することが可能となる。

この平滑化処理を、古代木簡から抽出した字形画像に適用する。現在、奈良文化財研究所では古代木簡の撮影を1点あたり約4,000pix(長辺)の解像度で行っている。大型の木簡では1行に30程度の文字が記載されることがあるが、この場合でも1字あたり100~200pix程度の解像度を得ることができる。そこで、今回は古代木簡のデジタル画像から切り出す1字の解像度を128pix(長辺, 縦横比保存)として実装を行った。なお、参考までに、128pixは画像処理で多用される24inch WUXGAのディスプレイで約3.5cm、一

部の小型 Ultrabook で採用される 11.3inch Full-HD では約 1.7cm (共に DPI は 100%) である。平滑化処理は、基本的には字形検索における形状評価の精度向上が目的であるが、1.7cm の大きさがあればユーザの視認性向上にも役立つことが期待される。

図 6 に、筆跡に近い木目が残る古代木簡に対する処理の例を示す。

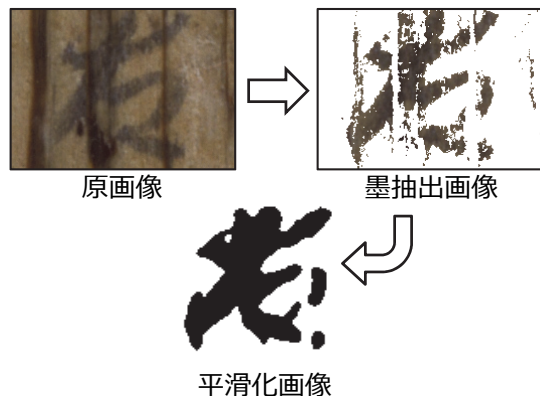


図 6 画像「右」に対する画像処理と平滑化処理
Figure 6 Results of image processing and normalization for the image of “右”.

この例では、元画像全体に対して Mokkanshop の画像処理機能を用いた墨抽出処理を適用して背景をある程度まで除去し、さらに平滑化処理を行っている。なお、墨抽出画像は多値 (カラー) 画像であるが、平滑化処理の前に有色画素を黒画素に置き換えた 2 値画像を生成して入力画像としている。

画像処理機能による背景の除去では、画像を縦に流れる木目が一部残り、一方で木目に重なった筆跡の一部が除去されている。また、抽出された筆跡は全体的に鬆が入っている。これらの問題は、古代木簡の記録媒体である木片に強く依存したものである。これに対して、平滑化処理を行った字形では、木目によって分断された第 1, 2 画の筆跡が結合され、筆跡の鬆がほとんど埋まっている。一方で画像左の木目に起因する縦線はほぼ除去されている。また、断片化された第 4 画は結合されていないが、その形状特徴を保存している。

平滑化処理の結果には、墨抽出処理の段階で木目の一部が除去できたことも影響している。しかし、墨抽出処理の結果に単純な膨張・収縮だけを行って Mokkanshop の字形検索を行うと、「給、御、師、・・・」といった画数の多い字種が候補の上位を占めることが確認された。これは、断片化した筆画と散在するノイズによって高い画数の字形が持つ形状特徴が偶然発生したことによる誤った結果といえる。一方で、平滑化処理後の字形で検索を行うと「右、石、布、・・・」といった字種が候補となった。このことは、紙媒体の古文書だ

けでなく古代木簡に対しても筆者らの平滑化処理が有効であることを示している。

続いて、細かいがはっきりとした木目が表面に多数見られる古代木簡への適用例を図 7 に示す。

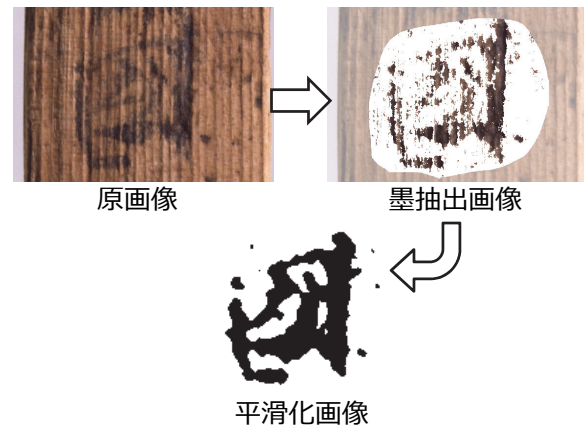


図 7 画像「国」に対する画像処理と平滑化処理
Figure 7 Results of image processing and normalization for the image of “国”.

この例では、Mokkanshop の電子ペンによる囲み機能を用いて、画像の一部を選択した上で墨抽出を行っている。平滑化処理においては、選択範囲の長辺を 128pixel とする矩形が処理対象となる。また、矩形内であっても選択範囲外の画素は自動的に背景 (白画素) と扱って処理をしている点について予め断わっておく。

図 7 の木簡は表面の風化が進んでおり、細かい墨の欠落が広範囲に見られる。また、表面が木目に沿った波状に歪んでおり、それに起因する影、変色が散在している。そのため、墨抽出処理の結果は筆跡が細かく断片化しており、また筆跡とは無関係のノイズが多数見られる。この字形に単純な膨張・収縮処理を施して字形検索を行うと、「殿、成、調、・・・」など本来の字種とは異なる候補が上位を占めることが確認された。

これに対して平滑化処理を行った場合は、木目に起因する揺らぎは残るものの断片化された筆跡が結合され、一方で木片表面の状態に起因する細かいノイズが除去される。その結果、字形検索の結果は「国、田、日・・・」といった本来の字形に近い候補が上位を占めることが確認できた。

距離画像変換と異方性拡散による平滑化がノイズの除去と筆跡の結合を両立できる理由の一つとして、距離画像に対する異方性拡散が筆跡の持つ黒画素の連続性を識別するのに適していることが挙げられる。距離画像変換は 2 値画像の境界抽出を核とする処理である。異方性拡散は微分によって境界の方向性を保存しながら画像の平滑化を実現する。1 本の筆跡が断片化しても、その方向が判別できれば結合できる可能性は高くなる。

ただし、平滑化処理が古代木簡のノイズにすべて効くわけではない。図 8 は、地中で長期に渡って多量の水分に触れ続けた結果、木片表面がふやけたように腐食した古代木簡に対する処理の例である。

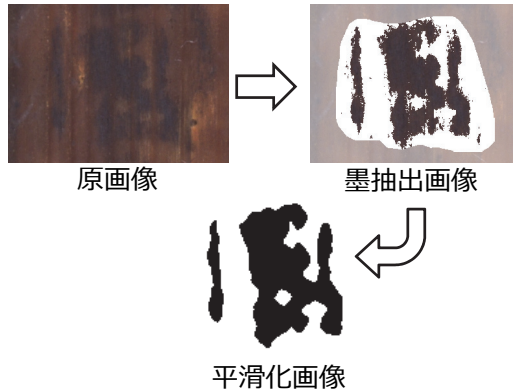


図 8 腐食した古代木簡に対する画像処理と平滑化処理

Figure 8 Results of image processing and normalization for the image of decomposed historical mokkan.

この例では、字形周辺のノイズ除去には成功しているが、ぼやけた筆跡のシャープネスを回復するには至っていない。一般的に、平滑化は高周波成分のノイズ除去には有効であるものの、図 4 のように低周波成分に至るノイズへの有効性は限定的である。これについては墨抽出手法を含めて 2 値化の精度を高めることで対応する必要があると考える。

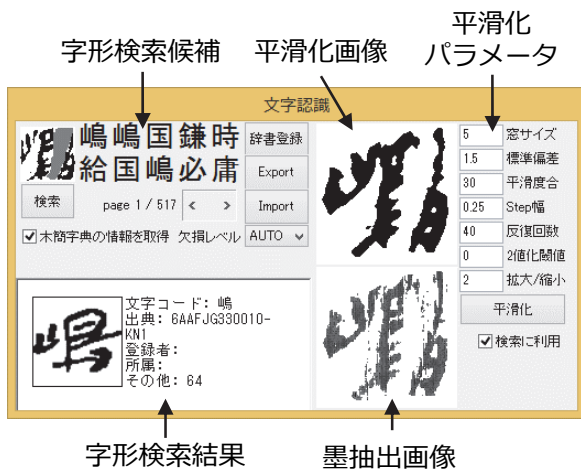


図 9 平滑化処理機能の操作を含む字形検索機能のための GUI

Figure 9 GUI for character pattern retrieval function with image normalization control.

図 9 に、上記平滑化機能の操作を含めた Mokkanshop の字形検索を行うためのユーザインタフェースを示す。

パターンマッチングを用いた字形検索において、ノイズの効果的な除去は精度向上に寄与する。しかし、実際にそのメリットをユーザにフィードバックするためには、検索キーだけでなく木簡字典にある既読字形に対しても平滑化処理の適用が不可欠となる。現在、パラメータの調整を行いつつ既読字形の平滑化処理を進めている。

図 10 に、その他の木簡に対する処理例を示す。

木目に沿った滲みのある古代木簡の処理例



腐食した古代木簡の処理例

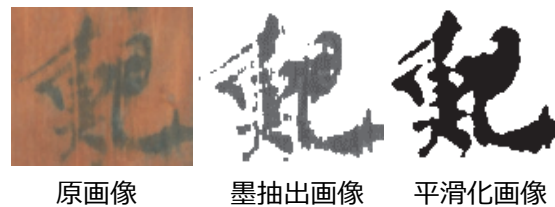


図 10 その他の古代木簡に対する処理例

Figure 10 Results of image processing and normalization of other historical mokkans.

4. 古代木簡解読支援システムのアップデート

デジタルカメラ、パーソナルコンピュータが高解像度のデジタル画像を扱えるようになるに従って、古代木簡を撮影したデジタル画像のサイズは今後大きくなるのが確実視される。

Mokkanshop の実装についても、このような状況の変化に対応すべく開発技術を変更している。また、多機能化に伴いユーザインタフェースの表面積も増加している。これに伴い、動作環境も以下の通り変更した。

表 2. Mokkanshop (アップデート後) の動作環境

Table 2. Requirements to use Mokkanshop (with updates)

OS	Windows 7 / 8 (64bit)
メインメモリ	4GB 以上
画面解像度	SXGA+以上

なお、上記の環境については現代の多くのコンピュータにおいて十分に満たせる水準にある。比

較的可搬性を重視した Ultrabook といわれるノート型 PC においても、メインメモリ 4GB 以上、画面解像度 1920×1080pixels といった性能のものが主流となりつつある。

Mokkanshop のユーザインタフェースは、Windows XP 時代の Tablet PC において主流となっていた解像度である XGA での動作を前提として実装されてきた。不要な機能を背面に移すことができるマルチウィンドウ方式は、限られた解像度の中で多くの機能をユーザに提供する有効な手段である。ただし、隠れた機能を利用するためには背面のウィンドウを前面に引き出してから利用する必要がある。

これに対して、すべての機能を常に前面に出すタイリングウィンドウ方式のユーザインタフェースが古代木簡解読支援システムにおいても使い勝手に優れることは、筆者らの過去の研究において明らかとなっている[3]。

そこで現在、Mokkanshop のユーザインタフェースをタイリングウィンドウ方式で再実装する作業を進めている (図 11)。



図 11 タイリングウィンドウ方式の Mokkanshop (実装中)

Figure 11 Mokkanshop with tiling window (under implementation).

タイリングウィンドウ方式の GUI では、各ウィンドウ要素をツリー構造で管理することで、画面の解像度の変化に対して安定したユーザビリティを提供することができる。また、ウィンドウの切り替えが必要なくなるため、ジェスチャーのように座標指定の精度が必ずしも高くない方法での操作にも対応が可能となる。ただし、グレースケール法の実装においては、指先でもある程度の精度で位置指定ができる方法を検討する必要がある。

また、縦長、横長など古代木簡の様々な形状に合わせてタイリングウィンドウのレイアウトパターンを複数用意する必要がある。これについては、木簡解読の専門家らの意見を取り入れながら今後追加・改良を進めていく予定である。

7. あとがき

本稿では、木簡解読支援システム Mokkanshop における平滑化処理の古代木簡画像に対する適用、およびシステム全体のアップデートについて述べた。情報技術、実行環境の変化に合わせて情報システムを改良する取り組みは、ユーザのメリットを維持するうえで欠かせない作業であると共に、新しい基盤の上で様々な技術を評価・考察する重要な研究となる。引き続き、情報システムの改善を通して有益な技術の提案・実現を行っていきたい。

参考文献

- 1) 末代誠仁、中川正樹、馬場基、渡辺晃宏：古代木簡解読支援のための画像処理および字体検索の高度化，人文科学とコンピュータシンポジウム論文集，Vol.2011，No.8，pp.93-98 (2011).
- 2) Kitadai, A., Shirai, K., Inoue, S., Kurushima, N., Baba, H., Watanabe, A. and Nakagawa, M.: Image processing and shape repairing for historical character pattern retrieval, *Proc. 16th International Graphonomics Society (IGS2013)*, Vol. 1, pp. 58-61 (2013).
- 3) Tone, Y., Kitadai, A., Ishikawa M., Nakagawa, M., Baba, H. and Watanabe, A.: User Interface Design for a Mokkan Reading Support System, *Proc. 12th Conference of the International Graphonomics Society (IGS2007)*, Vol.I, pp.193-196 (2007).
- 4) Tschumperl'e, D., and Deriche, R.: Vector-valued image regularization with PDE's: a common framework for different applications, *IEEE Trans. on PAMI*, Vol.27, No.4, pp.506-517 (2005).
- 5) Solle, P.: Morphological image analysis, *Springer* (1999).
- 6) Criminisi, A., Sharp, T. and Rother, C.: Geodesic image and video editing, *ACM Trans. on Graphics (in Proc. of SIGGRAPH)* (2011).
- 7) Green, C.: Improved alpha-tested magnification for vector textures and special effects, *Proc. of SIGGRAPH* (2007).