

石造遺物銘文取得のためのアーカイビング手法の開発 Development of Archiving Technique for images of text on Stone Monuments

上相 英之[†] 上相 真之^{††} 多仁 照廣^{†††}
Hideyuki Uesugi[†] Masayuki Uesugi^{††} Teruhiro Tani^{†††}
[†]神戸学院大学 人文学部 神戸市西区伊川谷町有瀬 518
^{††}宇宙航空研究開発機構 相模原市中央区由野台 3-1-1
^{†††}敦賀短期大学 地域総合科学科, 敦賀市木崎 78-2-1
[†]Kobegakuin University, 518 Arise Ikawadani, Nishiku, Kobe
^{††}Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Sagamihara
^{†††}Tsuruga Junior College, 78-2-1 Kisaki, Tsuruga

あらまし: 本論文では、石造遺物の表面に刻まれた銘文の画像解析による取得を目的とし、簡便で普遍性を持った撮影方法と、石造遺物の状況に応じた解析手法を柔軟に登録・検索・適用する解析型のデジタルアーカイブについて述べる。

Summary: In this paper, we developed a new data archive system for stone monuments, which includes image processing tools for pictures of the characters on the monuments. We can store and search the algorithms of the image analysis as well as the images and data of the samples to the system, and can semi-automatically apply the algorithms of the image processing which applied to the previous samples those have similar characteristics of the new sample.

キーワード: 石造遺物, データベース, 画像処理, 金石文

Keywords: stone monuments, database, image processing, epigraphs

1. はじめに

近年、デジタルアーカイブ構築の隆盛の中、石塔や石碑、水鉢といった石造遺物のデジタルアーカイブは、歴史的価値が高いものなど一部のものを除いては殆ど構築事例が無い。その一因として、石造遺物からの文字情報取得の困難さが挙げられる。従来、拓本によって文字を取得し、その拓本をデジタル化することで、石造遺物のデジタル化は進められてきた(「金石文拓本資料データベース」東京大学史料編纂所[1]「日本金石拓本コレクションデータベース」早稲田大学[2], など)。しかし拓本は一件のデータ取得に時間がかかる上、ある程度の経験を重ねる必要がある。また、石造遺物は歴史的・宗教的な観点から、汚損が許されず非接触・非汚損での観察しか許されないために適用できないことも多い。近年では、デジタルカメラや 3D スキャナーによる、3次元形状の復元が可能となり、文化財のデジタル化に大きな役割を果たしている。しかし、これらのデバイスを用いた石造遺物のアーカイビングには未だ課題は多い。先ず 3D スキャナーはフィールドワーク中に使用可能なハンドタイプのもので開発されている。しかし、高額なため、複数導入することは難しく、フィールド

に無数に存在する石造遺物のデータ取得には不向きと言える。次に比較的安価に手に入るデジタルカメラを使用する場合も課題は多い。石造遺物のほとんどは屋外に在り、長期にわたって風化作用を受けているため、

1. 表面がコケで覆われている
 2. 風化のため通常撮影では文字判読が困難
 3. 試料前面に十分な撮影距離がとれず、統一されたデータ取得方法が採れない
- などの理由により、通常撮影だけでは判読出来ない場合が多い(図1)。

加えて、拓本・デジタルカメラの 3D スキャナーいずれの場合も、文字情報取得のためにはデータ取得後、さらに煩雑な画像処理が必要となる。その画像処理にしても、石造遺物は、円柱・角柱・自然石などの形状の差や、風化の度合い・材質など多くの要因によって、採るべき手法は変わってくる。しかし、現在稼働しているデジタルアーカイブは博物学的な展示システムの延長であり、画像解析に使用できるアーカイブシステムについては未整備である。



図1 石造遺物の残存状況例。

決まった手法によって、このような多彩な画像を分析するためには、データフォーマット、およびイメージ獲得のための撮影方法を標準化する必要がある。

従来の博物館的なデジタルアーカイブでは、基本的に同一の視点からは1枚の画像しか取得・提示されず、またその必要もなかった。しかし、画像処理という機能をアーカイブシステムに導入する場合、1枚の画像からの情報量が変化しない以上、どれほど優れた画像処理法でも限界がある。そこで、連続的なデータを規格に従って取得することで、決まった手法で効率的に画像処理をすることが可能となり、一枚の画像からは得ることの出来なかった情報を容易に引き出すことができるようになる。例として月探査衛星かぐやでは、同じ地点の「光の波長」の違う画像データを用いて、これまでの月形成モデルでは形成されないと考えられていた Purest anorthosite と呼ばれる岩石を月表面上に発見するなど[3]、既に広く用いられている技法である。

本研究ではこの技術を応用し、図2のように上・下・左・右・正面の五つの光源を用い、試料に陰影コントラストを作り、同一の視点からそれぞれの光源の画像を撮影した。この複数の斜光画像を新しい軸とした試料の画像群を取得する。この手法は、複数の照明条件下で画像データを取得し対象となる物体の3次元形状を推定する Photometric Stereo[4]に代表される手法であり、Reflectance Transformation Imaging[5]で既に文化財へ適用実績がある。また、shape from shading[6][7]を活用すれば、陰影から三次元形状を復元することも可能となる。これらの解析手法は研究の蓄積も多く、大いに参考にすべき技術である。しかし、どのような優れた解析手法であっても、解析が行われた場合、解析の手順やパラメータは解析担当者の経験の中、アプリケーションの中で、マニュアルに転記される事もあり得る。再度、過去の解析で使用した手順やパラメータを利用する場合、ある程度の労力を必要とする。しかし、これらの手法は意図する光源以外を排除しなければならないが、石造遺物は、その環境が多様で、安定した撮影環境を用意することは不可能である。また、試料の移動も不可の場

合が多く、どのような撮影環境であっても、望む画像が取得できる撮影方法を開発しなければならない。さらに、試料表面は色情報や乱反射も多く、それらが画像の解析を妨げる要因となっていることも併せ、既存の画像処理の手法では各地に点在する石造遺物の文字情報を効率的に抽出することは難しい。

本研究では、このような石造遺物のアーカイブに山積する問題を解決するため、(1)一枚で石造表面の文字の判読可能な画像を提示することを目的とする、(2)画像処理の為、複数光源を軸とした画像群を取得する、(3)システムに Sips の他にも Image Magick や OpenCV といったライブラリを設置し、過去の画像処理の例を新しいデータにも適用することで、画像の閲覧/抽出だけでなく、画像処理のルーチンを検索/再帰的に実行するアーカイブシステムの構築を含めたトータルなソリューションの開発を目指す。

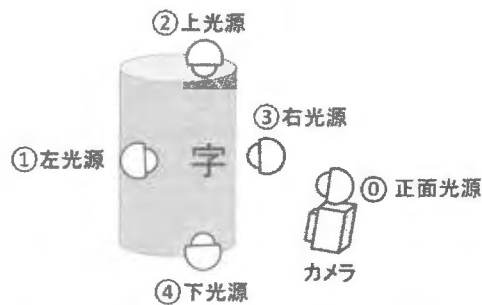


図2 撮影状況略図。

上下左右正面の五方向の光源下で撮影する。撮影時にカメラが動くことと画像処理時に位置合わせが必要となるため、リモコンを使用して撮影中はカメラを動かさない。

2. ワークフロー

文字情報取得までのワークフローは以下の通りである。

- (1) 4光源+正面光源の5つの光源毎に撮影
- (2) 解析サーバに画像を登録
- (3) メタデータ登録
- (4) 画像の切り抜き
- (5) 光源毎の画像平均を取得
- (6) グレースケール化し5枚の画像を取得
- (7) 各画像の輝度幅を揃える
- (8) 正面光源から斜光の差分を取得
- (9) 最も明るいピクセルで合成

(1)が撮影、(2)~(3)がデータ登録、(4)~(8)が全試料に共通した画像処理となり、画像データが登録されると、自動で(8)まで実行する。(9)以降がモジュールであり、試料毎に内容が変化する。最も明るいピクセルで合成する手法は、極めて単純な手法であり、斜光によって文字の影がはっきりと認められる場合に効果がある。

3. 撮影機材・手法

撮影機材は、デジタルカメラは NIKON 社の D5000 (約 1,230 万画素)を使用した。画像解析の際に位置合わせの問題が起こらないよう、フォーカス等は全て手動に設定し、ノイズ低減と光による白とびを防ぐために ISO 感度は低めの 200 に設定した。光源には、高輝度 LED を 306 個配置した TEEDA LED L306P を使用した。この光源は単三電池でも十分な光量を確保できるため、屋外の電源確保のための大型バッテリーを持ち歩く必要がなく、フィールドワークでの使用に適している。

撮影時は、以下の点に注意する。

- ・ 撮影枚数は光源間で一致させる
- ・ 撮影時、カメラが動くとき位置合わせが必要となるため、リモコンを使用して撮影中はカメラには手を触れない
- ・ 地面が柔らかいと周囲を踏みしめただけで位置がずれることがあるため、極力カメラにも近づかない
- ・ 光源を写り込ませない
- ・ 一つの光源を撮影し始めたら、決めた枚数を撮影し終わるまで、光源を他の角度に動かさない
- ・ 試料に直接日光が当たっている場合、陰影の正確な取得が困難になるため、日除けとなる傘を用いて日除けとする

以上の点を踏まえ、それぞれの光源位置からの写真を 4 枚の計 20 枚の画像データを取得した。本撮影手法では、光源を手持ちとし、カメラ操作はリモコンで行うため、図 3 の様に一人で実行可能である。



図 3 学部に撮影を依頼。

4. システム構成

本研究ではデータ取得後の画像解析をより効果的に進めるためのデジタルアーカイブシステムを開発した。システムの構成は以下の通りである。

- ・ プログラム言語: bash + perl
- ・ データベースサーバ: Apache + CGI
- ・ データベースクライアント: Web ブラウ
- ・ OS: MacOSX

MacOSX であれば UNIX 環境、Apache、perl が標準装備されており、サーバ設定が比較的容易である。また、OS に高性能な画像変換プログラム“sips”が標準搭載されており、このプログラムを利用することで、高価な画像処理ソフトを購入する必要が無い。また、Shell Script を使用し、Sips の他にも Image Magick や OpenCV といったライブラリが使用可能である。

本研究のデータベースシステムは、本来地球惑星科学分野において、個人運用を目的とし、データベースの設置から運用までのすべての過程を計算機システムに習熟していない研究者にも設置・運用が可能となることを目的として開発されたものである[8]。設置方法は指定されたディレクトリにファイルを設置し、サーバを公開するだけである。そのため、Mac で Web 共有設定が可能であれば、設置は数回のクリックだけで完了する。

5. データ登録

撮影した画像群は FTP でサーバにアップロードする。サーバに画像を登録する際、ファイル構成を記述した text ファイルを併せて登録する。text ファイルは全一行一文字で、0 から 9 までの数字を記述する(図 4)。



図 4 ファイル構成テキスト。数字一つが一つのファイルに対応し、各数字は光源方向を表している。5~9 は右上・右下・左下・左上の光源表す。基本的には 4 方向で十分な効果が得られる。サーバでは画像ファイルを昇順にソートするので、登録前にソートした上で、画像の光源方向を確認し数字を記述する。同じ数字のファイルは全て平均化される。

次いでメタデータを登録する。本システムはこの登録されたメタデータを利用して、近似した条件の過去の試料の画像解析手順を検索し、その過去の試料に適用された手法を、新規の登録画像にも適用する。過去の解析実績が無い場合、若しくはシステムが適用したモジュールによる結果が思わしくない場合は、新規に「使用画像処理用ライブラリ」「画像処理パラメータ」「手順」を検討・開発し、その一連の手順を登録する。そのため、本発表のメタデータは画像処理に影響を与えると想定されるものを優先して定めている。¹

¹現時点では、書誌的な情報をメタデータとして記述し、公開することを目的としていないため、ダブリンコアに沿ったメタデータとはなっていない。データが増え、情報提供の質を考慮する必要がある時、改めてダブリンコアに沿ったメタデータを検討していく。

表1 メタデータ

メタデータ	説明
ID	試料 ID
address	現所在地住所
history	移設前旧所在地住所
place	所在地概況(寺社名・道路・河川など)
build	造立年月日
transport	移設年月日
longitude	緯度
latitude	経度
altitude	高度(海拔)
direction	文字面の方向
height	高さ
width	幅
depth	奥行き
shape	石像物形状(角柱, 円柱, 自然石など)
material	素材
owner	試料の造立主, 施主
surface	表面形状(凹曲面・凸曲面など)
surfaceID	複数文字面がある場合の識別番号
condition	文字の視認度を以下の5段階で評価 1. 通常撮影画像でも十分判読可能 2. 現地判読は容易だが撮影では困難 3. 現地判読が不可能ではないが困難 4. 字形は認識できるが判読不可 5. 字形が残っていない
text	銘文内容
names	銘文中の人名リスト
object	石像物俗称(石灯籠, 鳥居, 水鉢など)
images	総画像枚数
direct	正面光源の有無
dark	斜光源の数
set	画像処理のセット番号
comment	コメント

6. 画像処理

6.1. 共通処理

画像処理には全ての試料に適用できるものがある。それを「共通処理」として、画像が登録された際に自動で全ての画像に適用される。

(4)trim…石造遺物以外が映り込まない様、トリミングを行う。(6)で輝度を揃える際、背景迄映り込んでいると、輝度が上手く揃えられない可能性があるため。

(5)average…光源毎の複数枚画像の average 平均をとることで、虫や塵などの映り込みや自然光の揺らぎの影響を低減する(図5)。

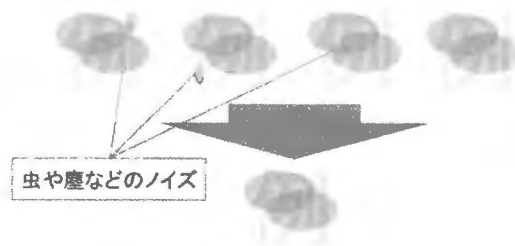


図5 average(平均)による効果。

(6)gray…本研究において重要なのは濃淡であり、色情報は必要無いため、グレースケール化し5枚の画像を取得する。

(7)brightness…各画像輝度を揃える(図6)

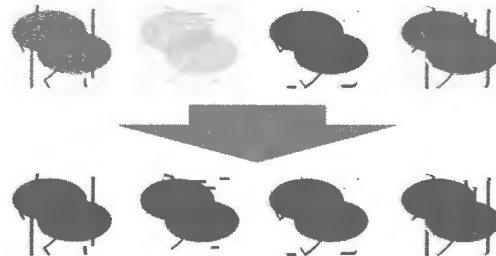


図6 輝度の調整。

(8)subtract…正面光源画像から斜光画像の差分を取得(図7)

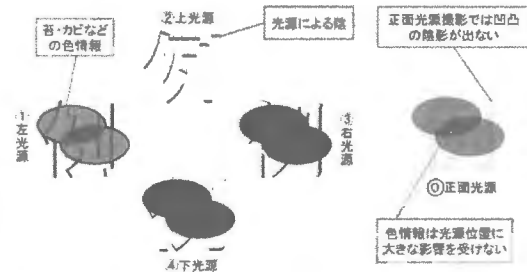


図7 差分画像の取得。

正面光源では凹凸の陰影が写らない。一方、斜光画像には、凹凸の陰影が写る。また、苔やカビなどの色情報は斜光による影響を大きく受けたいため、差分を取得すると、色情報が除かれ、陰影が強調された画像が取得できる。

6.2. 個別処理

個別処理は、試料毎の特徴(メタデータ)によって手順やパラメータが異なる。今回は差分をとった画像のMax(最も明るい部分)で画像合成する、単純な合成方法で画像処理を行う。この処理を行うと図8に見られる様に、上下左右の光源による陰影が合成され、文字が浮かび上がる。

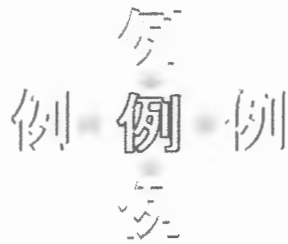


図8 差分画像の合成。
差分を取る事で取得された陰影が合成される。

7. データベース画面

図9はデータベース画面の例である。試料(1)は、神戸市垂水区高丸一丁目の瑞丘八幡神社の石塔で、処理前のオリジナルの画像が保存されている“org”ディレクトリが表示されている。ディレクトリ内の画像は、「ディレクトリ内画像」にサムネイル表示され、そこから選択された画像が「選択画像」に表示される。この画像からオリジナル画像では、文字の判読が出来ないことが明らかである。「ディレクトリリスト」には“org”ディレクトリの他に、共通処理後の画像が保存される“src”ディレクトリ、個別処理後の画像が表示される“result”ディレクトリが表示され、表示ディレクトリの切り替えが可能である。

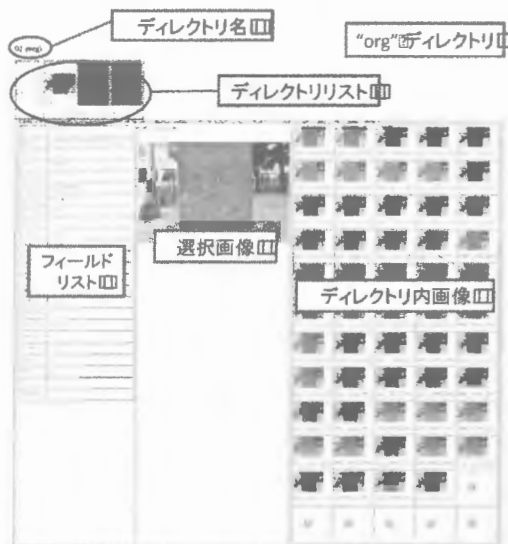


図9 データベース画面例・試料(1)。
“org”ディレクトリは撮影後の画像がアップされるディレクトリに当たる。フィールドリストには登録したメタデータが表示され、このメタデータでソート・検索も可能である。

画像処理の過程で共通処理後の画像を“src”ディレクトリ(図10)に保存する。画像はトリミングされ、平均化によってノイズが低減され、差分取得によって表面の不要な色情報が除かれている。この例の様に、共通処理後の時点で文字が判読出来そうな試料もある。

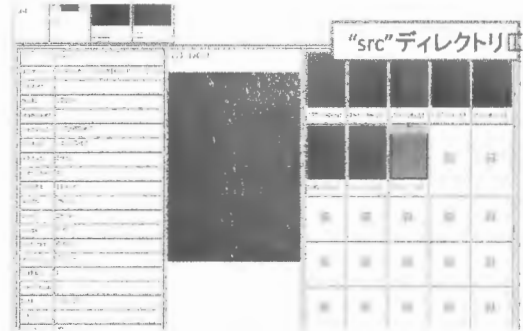


図10 “src”ディレクトリ。
共通処理を終え、石造遺物表面の不要な色情報が除かれ、斜光による陰影が強調された画像が光源毎に保存されている。

“result”ディレクトリ(図11)には、個別処理後の画像が保存される。ディレクトリ内画像には、個別処理後の画像が表示されている。この中から、文字が判読できる画像を選択・登録する事で、今後は類似したメタデータを持つ画像に同じ処理方法・パラメータが優先して適用される。

図12は、左からaverage合成・max合成・min合成(最暗部の合成)の結果である。本試料の場合、中央のmax合成が有効な画像処理方法であると判断される。

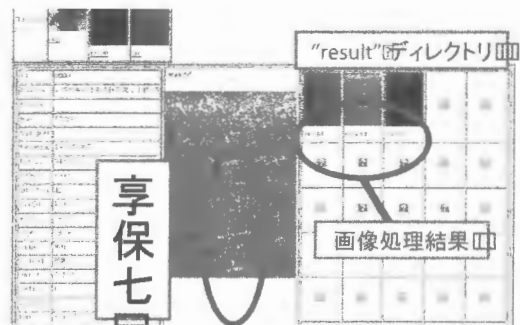


図11 “result”ディレクトリ、試料(1)の画像処理結果の画像。

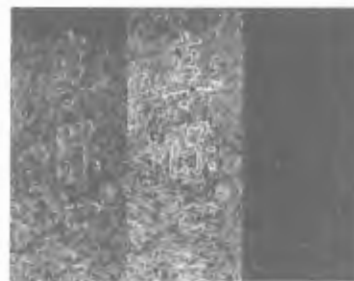


図12 「享保七」が判読可能である。

8. 事例

成功事例

試料(2) 神戸市垂水区 瑞丘八幡 狛犬台座

図13はオリジナル画像であり、図14は図12と同じく average と max と min の結果である。以下の通り、オリジナル画像での文字の判読は難しいが、図12 同様 max 合成ならば、「嘉永七甲寅十一月吉日」と、最もよく判読できる。一方で min 合成は全く判読できない。



図13 瑞丘八幡 狛犬台座 オリジナル画像

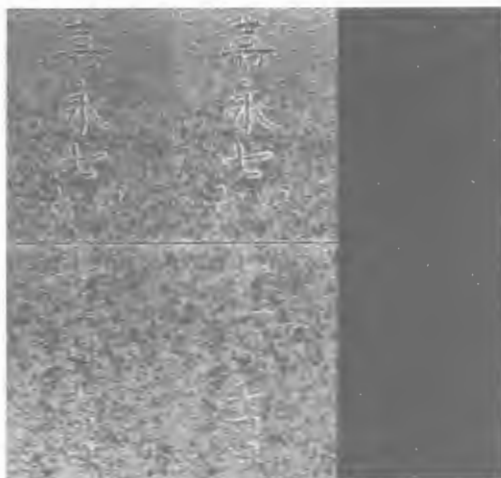


図14 瑞丘八幡 狛犬台座 画像処理後

試料(1)と(2)は両者とも、メタデータ“condition”で言えば、2の「現地判読は容易だが撮影では困難」に相当する、風化状態である。

試料(3) 伊勢市 北山墓地 宝篋印塔

図15は、左がオリジナル、右が max 合成による結果である。この試料は、表面の色情報(カビ)が文字の判読を妨げている。また砂岩製のため風化が早く、表面が摩耗するように文字情報が失われつつある。文字の凹みはかろうじて残っているが、現地での判読には慣れが必要なため“condition”は3に相当する。

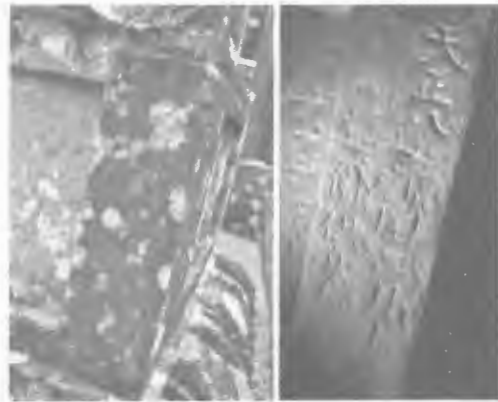


図15 伊勢市 宝篋印塔

失敗事例

試料(4) 神戸市西区 巖島神社 狛犬台座

図16は狛犬台座部分である。max 合成処理後の画像をトリミング前の位置に重ねているが、文字面の大きな湾曲が、光のムラを発生させ、処理結果にその影響が見られる。

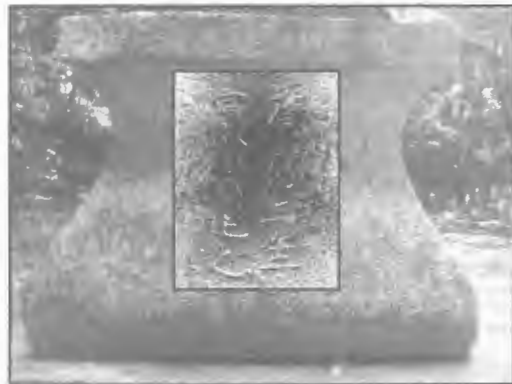


図16 巖島神社 狛犬台座

試料(5) 神戸市垂水区 瑞丘八幡 石鳥居

図17は円柱形の石鳥居である。試料(1)と年代・風化共に同程度だが、形状が異なるため、上手く処理出来ていない。

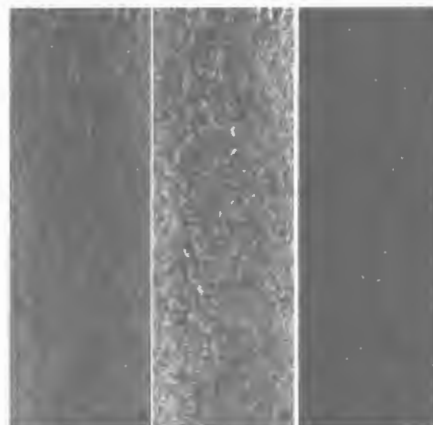


図17 瑞丘八幡 石鳥居

試料(6) 敦賀市 三嶋八幡 石灯籠

図18は円柱の石灯籠である。この事例の場合、既に字形が失われており、判読は不可能である。

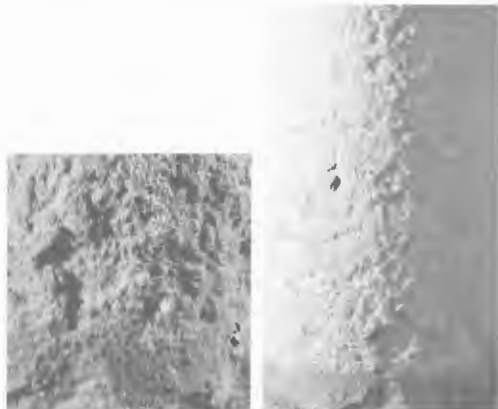


図18 三嶋八幡 石灯籠

要検討事例

試料(7) 伊勢市 北山墓地 宝篋印塔

試料(7)は、試料(3)と同じ宝篋印塔であり、“condition”は3である。また、試料(3)と同じくカビ由来の色情報が文字の判読を大きく妨げている(図19)。(3)との違いは、銘文の記述面の広さと、銘文の刻まれた面が凹形になっているため、斜光を当て難いという点が挙げられる。

結果、図20に見られるように大体の文字は判読できるが、文字面全体を囲む壁の為、斜光が端の文字に当たらないことが原因で画像右下や左下に黒く文字の判読できない箇所が存在している。

また、本誌料は文字の記述面が広い為、トリミングを殆どせず、広い範囲を、光源を平行移動させながら取得した。その為、図21のように光のムラが発生し、図20の上部と下部の明るさの違いなど、均一な処理結果が得られ難くなっている。



図19 伊勢市 宝篋印塔 オリジナル画像



図20 伊勢市 宝篋印塔 max 合成処理画像

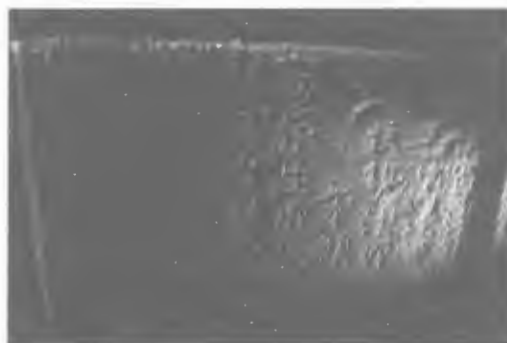


図21 伊勢市 宝篋印塔 差分画像

試料(8) 尼崎市 生島神社 石灯籠

図22は、御影石製の石灯籠であり、“condition”は3である。この試料は風化による凹みの深い部分と、刻まれた文字の深さが同じ2mmであるため、斜光によって陰影を写そうとすると、風化の陰影も同じ程度に強調される。そのため、処理後画像の文字が判読し難くなっている。



図22 生島神社石灯籠

9. まとめと課題

本論文では、石造遺物の文字情報取得法として、光源の位置を変えて撮影し、斜光源画像を新しい軸とした画像群の撮影方法を提案し、その画像群を利用した解析型デジタルアーカイブの発表を行った。

その結果、通常の撮影では文字の判読が不可能なほど風化した石造遺物表面の銘文を、ある程度、判読可能な画像として処理することが出来た。

しかし、円柱など、形状が複雑になれば max 合成だけでは、うまく処理できない事例も多く、また、文字情報とは関係の無い凹凸まで陰影を残すので、それがノイズとして画像に残る事で、判読が妨げられる等、課題は多い。

先ず、形状の問題は、Reflectance Transformation Imaging や、shape from shading など画像処理分野の手法を、個別処理の手法に取り入れる事で、形状に応じた解析手法を提示することが期待出来る。次に、解析結果画像をヒストグラム解析し、閾値を決め 2 値化する。さらに 2 値化した画像からノイズを除くために、拡張(dilation)・収縮(erosion)の順に処理を行う、クロージング(closing)と、逆に収縮(erosion)・拡張(dilation)の順に処理を行うオープニング(opening)を行った。結果、図 23 の様に判読できた試料(1)は、より鮮明になり、判読が難しかった試料(8)は、「文政」という文字が浮かび上がる程には復元できる。

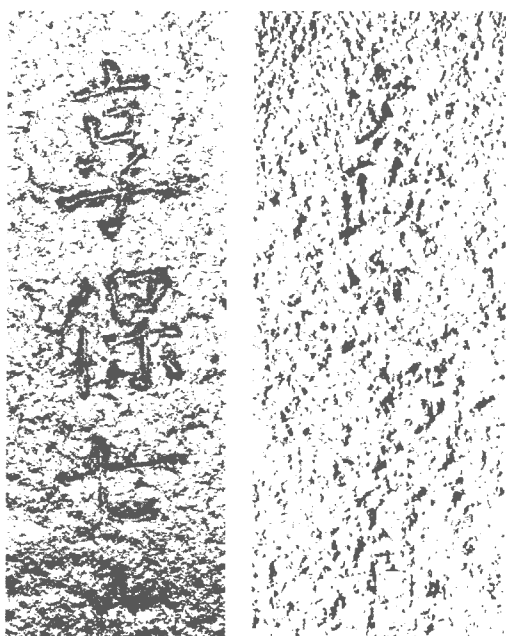


図 23 試料(1)と試料(8)の 2 値化画像

今後は、これらの手法を個別処理に取り入れ、文字の認識精度向上を図る。また、解析手順の検索/適用機能を検証・活用する為には多くの試料画像が必要となる。今後は多くの研究者に登録・解析の検証を行って貰える様、システム公開を前提に、セキュリティやシステムの安定度を高めていきたい。

10. 謝辞

本研究は科研費 23650122 の助成を受けたものである。

11. 文献

- [1] 金石文拓本史料データベース
http://wwwap.hi.u-tokyo.ac.jp/ships/_shipscontroller
- [2] 日本金石拓本コレクションデータベース
http://www.enpaku.waseda.ac.jp/db/kinseki_takuhon/
- [3] Ohtake et al.: The global distribution of pure anorthosite on the Moon, *Nature*, 461, pp.236-240 (2009).
- [4] R. J. Woodham.: Photometric Method for Determining Surface Orientation from Multiple Image, *Optical Engineering*, Vol. 19, pp.139-144(1980).
- [5] Reflectance Transformation Imaging
http://culturalheritageimaging.org/_Technologies/RTI/
- [6] Ramachandran, V. S. Perceiving shape from shading. *Scientific American*, August, pp. 76-83(1988).
- [7] Ramachandran, V. S. Perception of shape from shading. *Nature*, 331, pp.163-166(1988).
- [8] 上栂真之, 上杉健太郎: X 線 CT の 3 次元データのためのデータベース開発, 日本惑星科学連合大会子集, Disk2, MGT015-06 (2010).
- [9] 上栂英之, 上栂真之, 多仁照廣: 石造遺物デジタルアーカイブ構築のための撮影手法の開発, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-EIP-55 No.11, pp.99-100 (2012).
- [10] 上栂英之, 上栂真之, 多仁照廣: 石造遺物銘文取得のためのデータベース開発, 人文科学とコンピュータ シンポジウム論文集, No.7, pp.179-184(2012).