

石造遺物デジタルアーカイブ構築のための画像解析法の開発

上梶英之^{†1} 上梶真之^{†2} 多仁照廣^{†3}

石造遺物表面の文字情報を取得するため、まず斜光撮影画像を複数枚用意する。次にその差分を採ることで、色情報を削除し、残った凹凸の陰影を合成することにより通常撮影では判別が困難な文字情報を効率よく取得することが可能となった。

Development of the Image Processing for Constructing of Stone Monument Digital Archives

HIDEYUKI UESUGI^{†1} MASAYUKI UESUGI^{†2}
TERUHIRO TANI^{†3}

In this paper, we propose a new technique for the imaging of the characters on the surface of stone monuments. We acquired images of a stone monument illuminating from different directions, and reconstructed a new image by differentiating and integrating the source images. Using the reconstructed image, we can identify the characters without the stone monuments being damaged.

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。これまで、主に拓本・デジタルカメラ・3D スキャナによって文字の取得が行われてきた。拓本は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(「日本金石拓本コレクションデータベース」早稲田大学[1]、「金石文拓本資料データベース」東京大学史料編纂所[2]など)。しかし、拓本の取得は時間がかかる上に、歴史的・宗教的な観点から、汚損が許されない試料に対しては、熟練しなければ適用できないことも多い。一方、デジタルカメラでの撮影にも課題は多い。石造遺物のほとんどは屋外で長期にわたって風化作用を受けており、明瞭な文字としての認識が難しい場合が多い。また、表面がコケで覆われていたり、太陽光線の違いによる視認性の変化があったり、一元的なライブラリの構築を困難にする様々な問題があった。また、三次元を計測するための機材の開発が進み、フィールドワークで石造遺物にも使用可能なハンドタイプの 3D スキャナも開発されている。しかし、導入費用が非常に高額となり、一般的とは言い難い。

また、拓本・デジタルカメラの撮影いずれの場合も、データ取得後さらに煩雑な画像処理が必要となるが、現在稼働しているデジタルアーカイブは博物館的な展示システム

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。

本研究の目的は、石造遺物(以下、試料)表面の文字情報を、簡便に利用できるデバイスを用いて、効率よく取得するための撮影方法・解析方法を開発することである。その為、特殊な撮影機材を利用せず、デジタルカメラを使用し、同じ試料の、状況の異なる写真を複数枚撮影することで、非接触・非汚損で文字情報を取得する手法を提案する。

2. 画像解析による 3 次元データの取得

1 枚の画像からデータを解析する方法は非常に多くの研究があるが、情報量が変化しない以上、どれほど優れた画像処理法であっても限りがある。しかし、上記の様に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している[3]

また、画像解析技術としては、同様の手法として、複数の照明条件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]が代表的な手法である。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り、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

^{†1} 神戸学院大学

Kobe Gakuin University

^{†2} 宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

^{†3} 敦賀短期大学

Tsuruga Junior College

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。
そこで、本研究ではこれらの既存の技術を応用しつつ、
図1のように、同じ位相各絶対値を持つ複数の光源を用意し、
位相角を新しい軸とした試料の画像データから、主にも
事情法を取得する解析手法の開発を目標としている。

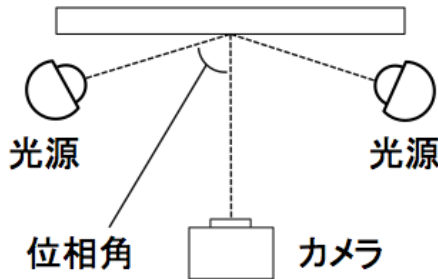


図1 位相角と複数光源

3. データの取得・解析法

3.1 機材・撮影方法

本研究で、位相角を変化させずに、上下左右から図2のように四つの光源を用い、試料の陰影コントラストの画像データを取得した。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あわせの問題が起こらないよう、フォーカス・手ぶれ補正は全て手動に設定し、ノイズ低減とフラッシュライト使用による白とびを防ぐため、ISO感度は低めの200に設定する。光源には、フラッシュライトを使用した場合でも光源による陰影を残すため、明るめの270lmのLED電球ミニレフランプを使用する。

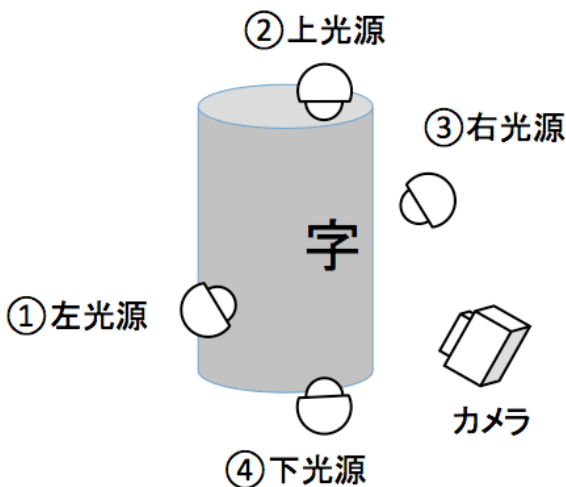


図2 撮影機構の概略

撮影時には、同じ試料に対して、光源位置を上下左右に設置し、位相角を70度、距離を40cmと固定とする。撮影

時は、画像のずれを防ぐため、カメラ位置は試料と正対する高さに固定し、リモコンでシャッターを切る。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。

以上の状態で、それぞれの光源位置からの写真を4枚撮影する。

3.2 画像解析方法

石などに刻まれた文字を判読する際、凹凸に関係の無い材質や苔やカビ、風化による色情報が判読を妨げていることが多い。この問題には、光源位置に影響を受けない色情報は、二枚のずれの無い画像の差分をとることで除くことができるため、左と右、上と下のように位相角の絶対値が同一で、光の方向面が同一の光源からの画像同士の差分をとり、それらの画像を合成することで試料表面の凹凸を拓本のように取得できる(図3)。

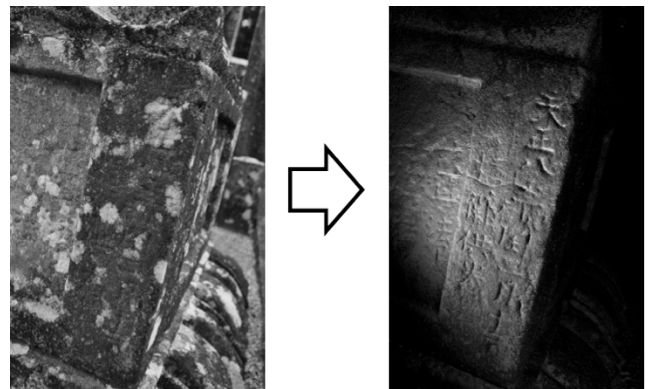


図3 三重県伊勢市 北山墓地宝篋印塔

以上の事を踏まえ、四枚の画像を撮影した後は以下の手順で文字情報の取得を試みる。

- 各画像をグレースケール化
- 各画像の輝度を揃える
- 正面光源画像から斜光画像の差分を取得
- 差分をとった画像のMax(最も明るい部分)で画像合成

4. 実験

4.1 神戸市西区 石戸神社石灯籠

先の手順に沿って、以下4つの試料の解析を行った。

まず、神戸市西区伊川谷町前開の石戸神社の石灯籠の造立年代が刻まれた東面を試料とした。

本試料は、図4に見られる様に、撮影画像からは一見して文字を判読が難しいが、現地で見ただけの場合には、手持ちのライトを当てると判読できる程度の風化が見られる。また、データ取得時は午前中であり、東面には木漏れ日からの直射日光が当たっているなど、フィールドワークでの撮影において、先ず障害となる光の問題を抱えた試料である。



図 4 兵庫県神戸市西区 石戸神社石灯笼

四方向の光を当てた 4 枚の画像をグレースケール化したものが図 5 である。これらの画像から、光源の面方向と位相角の絶対値が同じ光源①（左）と光源③（右）の差分をとり（図 6）、光源②（上）と光源④（下）の画像の差分をとる（図 7）。

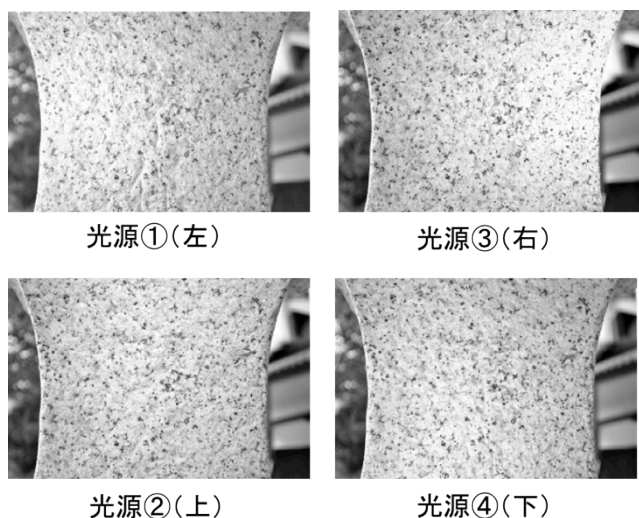


図 5 光源毎のグレースケール画像

光源による陰影以外、ほぼ同じ画像の差分をとっているため、差分をとったばかりの画像は殆ど黒一色となる。そこでヒストグラムの解析を行い、最適な輝度に調整する（図 8）。本研究では輝度の調整には ImageJ の Bright/Contrast の自動最適化機能(Auto)を使用した。結果、図 6 より試料の凹凸に関係のない色情報は、光源の位置に影響されないため、取り除かれ、陰影によるコントラストは、差分として残っていることが確認できる。

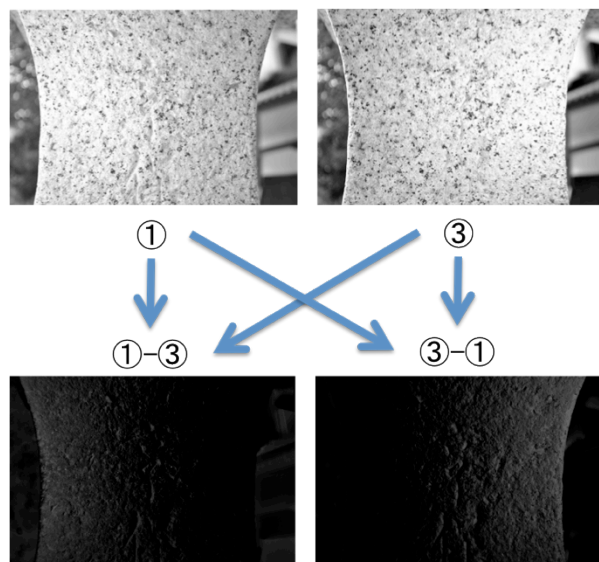


図 6 光源①（左）と光源③（右）の差分取得画像

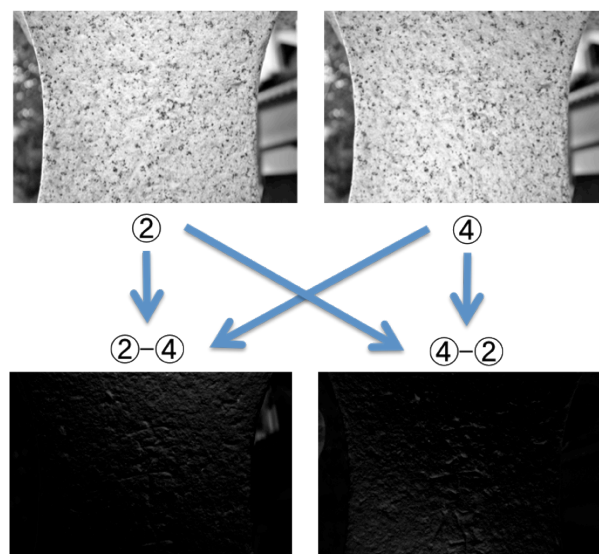


図 7 光源②（上）と光源④（下）の差分画像

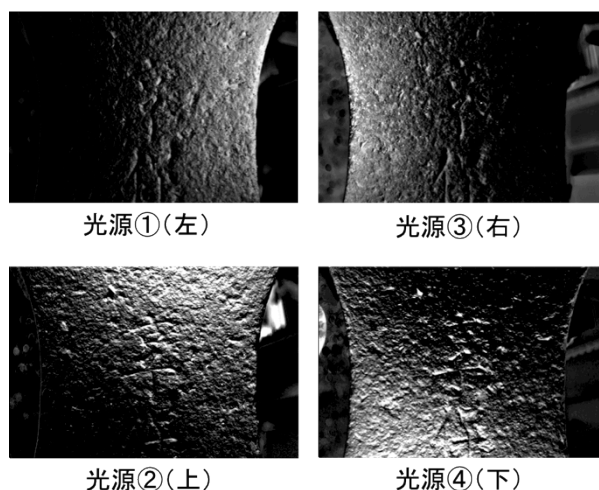


図 8 輝度調整後

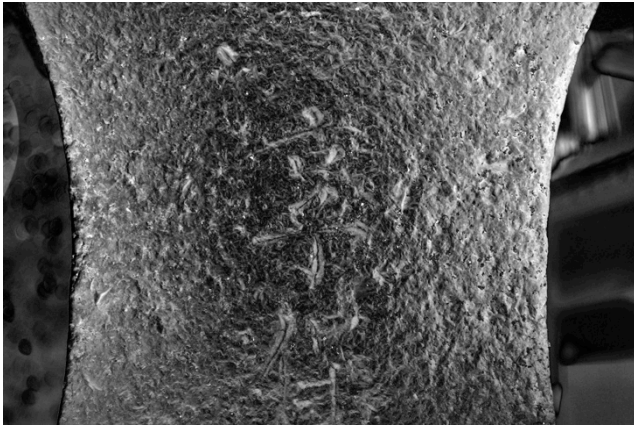


図 9 合成画像

輝度を調整した4枚の画像のMax(四つの画像の内、最も白い部分)をとり、合成した結果が図9であり、「享保」という文字であると認識できる。

4.2 神戸市垂水区 瑞丘八幡神社石灯籠

神戸市垂水区高丸一丁目の瑞丘八幡神社の石塔(図10)で、風化の程度は、石戸神社と同じ程度であり、通常撮影では銘文を読むことは出来ない。



図 10 兵庫県神戸市垂水区 瑞丘八幡神社石塔



図 11 瑞丘八幡神社石塔解析結果

解析の結果、図11の様に、石造遺物表面の文字情報「享保七」が視認できる。

4.3 兵庫県尼崎市栗山町 生島神社石灯籠

尼崎市栗山町二丁目の生島神社の石塔(図12)は、風化が酷く、現地での判読も困難な試料である。



図 12 兵庫県尼崎市栗山町 生島神社石灯籠

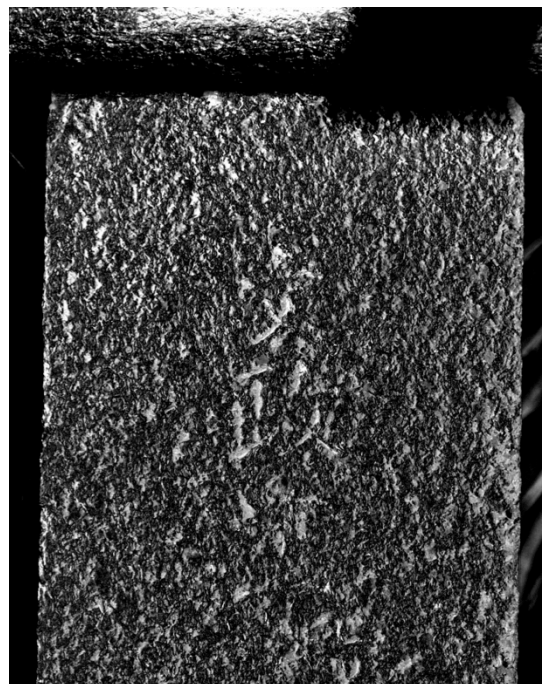


図 13 生島神社石灯籠解析結果

「文政」の文字がかろうじて判読できるが、後は銘文がつぶれているため判読出来ない。

4.4 三重県伊勢市 北山墓地宝篋印塔

試料の中で、最も古い天正 8 (1580) 年の宝篋印塔である。風化と苔やカビの色情報が、銘文の判読を困難にしている (図)。



図 14 三重県伊勢市宇治浦田三丁目 北山墓地宝篋印塔

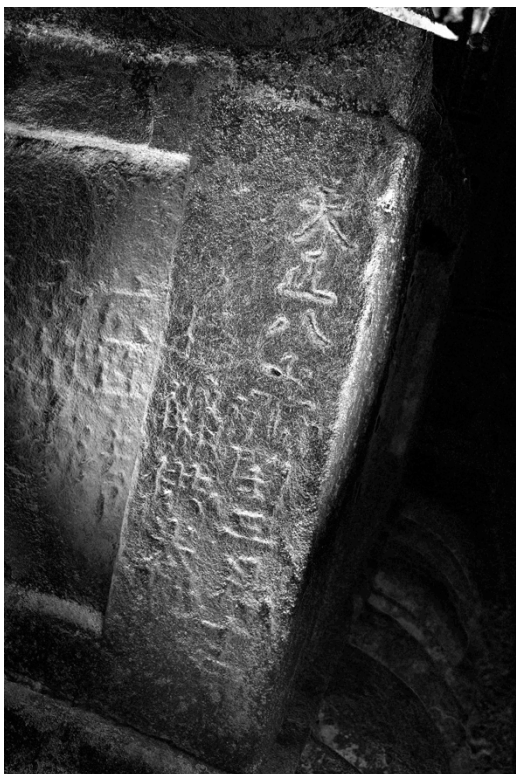


図 15 北山墓地宝篋印塔解析結果

試料表面の多くの色情報が削除され、陰影による凹凸だけが強調され、文字「天正八閏三月十■」と「■■供養」という文字が判読できる。

5. おわりに

本論文では、石造遺物の文字情報取得法のひとつとして、光源の位置を変えて撮影し、光源位相角を新しい軸とした画像の撮影方法を提案した。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金石文を、4 方向の光源を文字が視認できる程度に解析が可能であることが確かめられた。

しかし、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っている。将来的には 2 値化画像から文字検索を行うことが目標となる。そのため、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)の順に二回ずつ処理を行うクローズング(closing)と、逆に収縮(erosion)・拡張(dilation)の順に二回処理を行うオープニング(opening)を行った結果が、図 16~図 19 である。

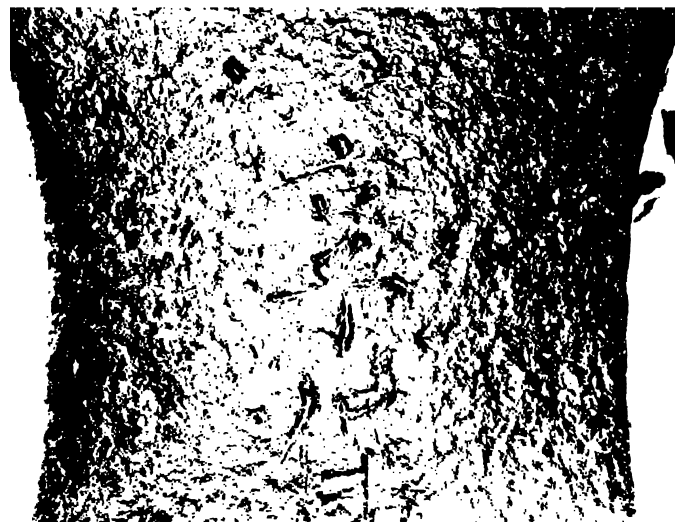


図 16 石戸神社石灯籠二値化画像



図 17 瑞丘八幡神社石塔二値化画像



図 19 北山墓地宝篋印塔二値化画像

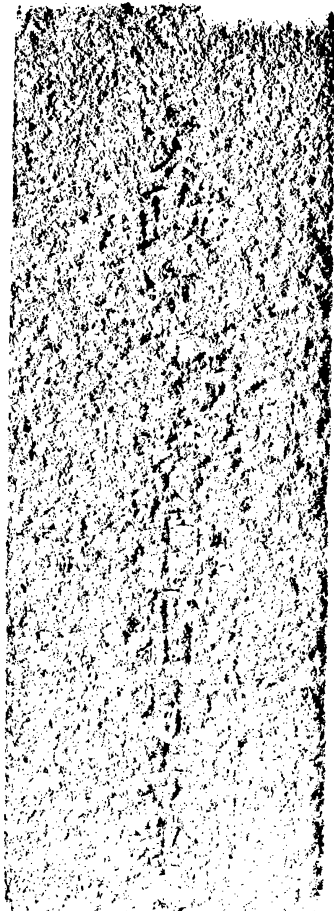


図 18 生島神社石灯籠二値化画像

これらの画像を見る限り、画像の2値化により文字の視認度は上がったように思われる。しかし、文字を細線化し、文字のベクトルから文字検索を行うにはノイズが多い。さらに、図18のように風化の著しい石造遺物の場合はノイズがさらに増える。これらの問題の解決の為に、陰影による3D形状を復元する Shape From Shading や、複数光源による撮影手法に関して広く知られている、 Reflectance Transformation Imaging[5]の特徴を使用すれば精度向上が期待できるので、これらの特徴を融合させた撮影・解析手法を今後の課題としたい。

謝辞 本研究は科研費 23650122 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 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/,
- 2) 金石文拓本史料データベース
<http://www.wap.hi.u-tokyo.ac.jp/ships/shipscontroller>
- 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/>