

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

上相英之[†] 上相真之^{††} 多仁照廣^{†††}

本論文では、デジタルカメラを使用し、石造遺物の文字情報を取得する撮影手法を提案する。安定した撮影環境が望めない、フィールドワーク中に於いても、光を遮り、フラッシュライトを用いることで、文字の復元も可能な程の陰影のコントラストの取得が可能であることが確認された。

Development of the Photography Technique for Constructing of Stone Monument Digital Archives

Hideyuki Uesugi[†] Masayuki Uesugi^{††}
and Teruhiro Tani^{†††}

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、美術館・博物館などのコンテンツのデジタルアーカイブ化が推進され、成果を挙げているが、その中で、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ほとんど構築事例が無い。この石造遺物のデジタルアーカイブ化がほとんど行われてこなかった最大の理由は、石造遺物からの文字情報取得の困難さが挙げられる。これまでには、拓本による文字の取得が行われ、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など）。しかし拓本の取得には時間がかかるうえに、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、一方で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る事により、その一元的なライブラリの構築が難しいなどの問題があった。

一方で、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 スキャナーも開発されている。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。

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[1]。

[†] 神戸学院大学
Kobe Gakuin University
^{††} 宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency
^{†††} 敦賀短期大学
Tsuruga Junior College

本研究ではこの技術を応用し、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を取得する手法の開発を目標としている。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[2]が代表的な手法であるが、意図する光源以外を排除しなければならない。しかし、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からでは石像遺物の文字情報を抽出することは難しい。

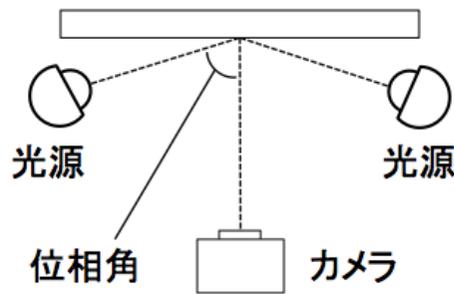


図1 位相角と複数光源

3. データの取得・解析法

3.1 機材・撮影方法

本研究では、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、フォーカス等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での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、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し、屋外での電源確保のためのバッテリーを用意した。

撮影時には、同じ試料に対して、光源位置を上下左右、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、カメラは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った。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し、それでも

間接光や拡散光などにより、試料に意図せぬ陰影が落ちる場合があるので、カメラのフラッシュライトを用いてこれらの陰影を除いた。

以上の状態で、それぞれの光源位置からの写真を 8 枚の計 36 枚の画像データを取得した。

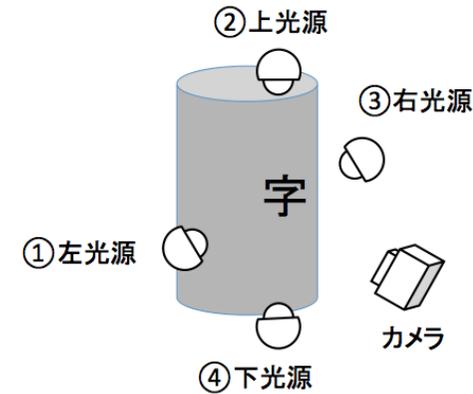


図2 撮影機構の概略

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。この問題に対処するため、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可能と仮定し、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と考えた。

以上の仮定をもとに、画像の解析を ImageJ[3]を用いて以下の手順で行う。

- i. ①～④の各光源の 8 枚の画像の平均をとりグレースケール化
- ii. ①～④の各画像の輝度の平均を揃える
- iii. 左右からの光源である①と③の画像の差分と、上下からの光源である②と④の画像の差分を取得
- iv. 差分をとった画像 4 枚を合成

4. 実験

本論文では、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3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ったため、この試料を本論文の調査対象とした。



図3 石戸神社石灯籠東面金石文

四方向の光を当てた8枚の画像の平均をグレースケール化したものが図4～図7である。一見すると、フラッシュによって陰影が飛ばされている様に見える。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と光源③、光源②と光源④の画像の差分をとり、合成したものが図8～図11である。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分析を行い、最適な輝度とコントラストに調整した。本研究では輝度とコントラストの調整に、ImageJのBright/Contrastの自動最適化機能(Auto)を使用した。また、この最適化機能は、図3～図6のグレースケールを作成する際にも明るさやコントラストを揃えるために使用している。

結果、図8～図11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

できた。

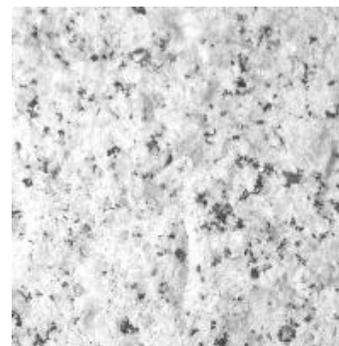


図4 ①左光源の画像

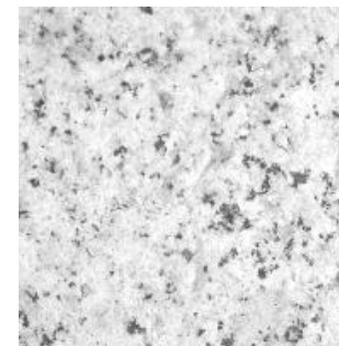


図5 ③右光源の画像

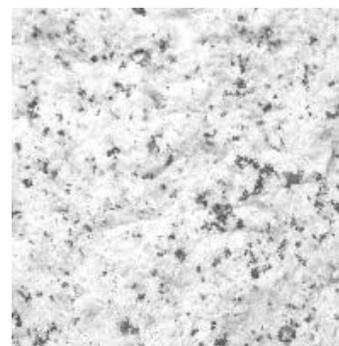


図6 ②上光源の画像

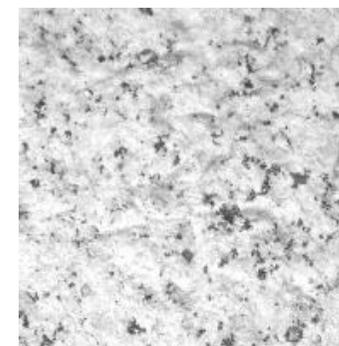


図7 ④下光源の画像

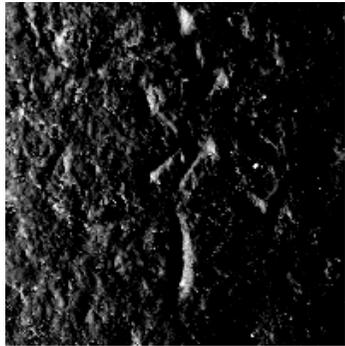


図 8 ①-③の差分画像

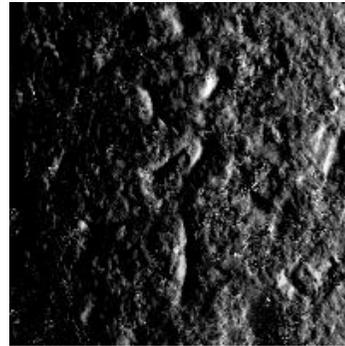


図 9 ③-①の差分画像

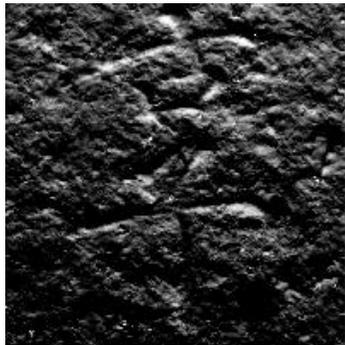


図 10 ②-④の差分画像

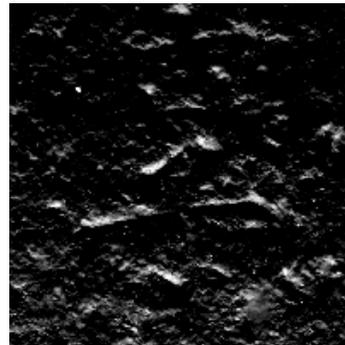


図 11 ④-②の差分画像

図 8～図 11 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 12 であり、はっきりと文字が“享”であると認識できる。

以上、例え直射日光が当たる面であっても、直射を防ぎ、間接光や拡散光をフラッシュライトで除くことにより、意図する陰影が取得できることが確かめられた。

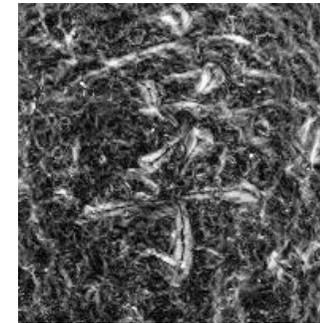


図 12 4枚の差分画像合成

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でき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。将来的には細線化した 2 値化画像から文字検索を行うことが目標となるので、この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ジング (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 14 である。

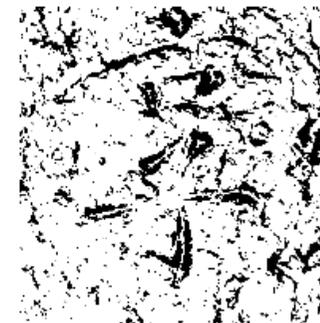


図 13 4枚の差分画像合成

この画像を見る限り、この2値化画像から文字を細線化し、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、本試料よりも風化の著しい石造遺物の場合はノイズが増えることが想定される。この問題を解決するために、本論文と同じ複数の照明条件で画像データより3次元形状を推定する Photometric Stereo の特徴を利用すると、精度向上が期待できる。

以上の点を融合させた撮影・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) Ohtake et al.: The global distribution of pure anorthosite on the Moon, Nature, 461, pp.236-240 (2009).
- 2) R. J. Woodham.: Photometric Method for Determining Surface Orientation from Multiple Image, Optical Engineering, Vol. 19, pp.139-144(1980).
- 3) RSB Home Page, <http://rsbweb.nih.gov/>