

ImageJ を用いた擬似的 3D モデル構築 による刻法研究手法の検討

安藤 喜紀

はじめに

書道学領域における刻に関する研究は篆刻分野をはじめとして、数多く行われている。近年では碑刻における刻工研究も盛んにおこなわれ、その重要性は日に日に高まりを見せる。しかし、その刻の様相をとらえる上で、碑刻研究の場合、拓本をもとに分析することが多いが、刻に表出する特徴、刻風を各字の比較などの研究手法によってとらえることはできても、拓本からではその刻の点画や、刻内部の様相をとらえることは難しい状況である。

そこで、本稿では刻そのものをよりつぶさに観察、分析するための手法として、画像解析ソフトを使用し、原石画像から刻面の断面図を擬似的に再現できないか、また拓本画像に同様の解析をかけ、原石画像と拓本画像の解析結果を比較することで、拓本画像を使用した刻の分析が実用に堪えうるものか検討したい。

本稿で使用した画像解析ソフトは ImageJ と呼ばれる Java プログラムを利用したフリーソフト、およびその ImageJ に多くの解析スクリプトを含めた FIJI¹ というフリーソフトである。本来、この FIJI は生化学分野の顕微鏡画像解析などに主に使用されているフリーソフトである。しかし、顕微鏡画像解析以外にも、JAXA による「『ALOS 全球数値地表モデル (DSM) “ALOS World 3D - 30m” (AW3D30)』 標高データ (DSM) を表示するための一例」² に ImageJ を使用するなど、幅広い使用方法がみられる。

1 Schindelin, J.; Arganda-Carreras, I. & Frise, E. et al. (2012), "Fiji: an open-source platform for biological-image analysis", Nature methods 9 (7): 676-682, PMID: 22743772

立体的な画像化には Interactive 3D Surface Plot³ というフリーのプラグインスクリプトを追加で ImageJ に入れ、使用した。このスクリプトは画像データの各ドットの色調を識別し、表面プロットを生成する。このスクリプトを使用すれば、一定の方向から光を当てて撮影された刻面画像は、刻線内部が影となるため、表面よりも暗くなり、刻線部分が凹な表面プロットが作成され、拓本画像では文字部分が白くなるため、刻線部分が凸となる表面プロットが作成される。

実のところ、今回使用した Interactive 3D Surface Plot の追加プラグインとは別で、ImageJ には 3D Surface Plot という類似の解析機能が標準で実装されている。標準で実装されている 3D Surface Plot では、設定によっては刻線の白い部分が凹となるように表示することも可能である。その方が直感的には類似性を確認できる場合もある。しかし、こちらはモノクロ画像でしか解析がかけられない、xyz 軸方向の任意の回転ができない、解析後の Plot の画面内での拡大縮小ができないなどの問題があった。特に xyz 軸方向の任意の回転ができないことは致命的に不便で、例えば、点画の一部のみを切り取った場合、斜め視点からだけの表示となるため、実際の文字の点画との位置関係が直感的に把握しにくい。Interactive 3D Surface Plot では解析画像を回転できるために、平面から立体への切り替えが直感的に行われる。

このような、画像解析をかけた後の扱いの平易さ、汎用性の高さから、Interactive 3D Surface Plot の使用による解析を行うこととした。

今回の検証にあたり、本稿では原石画像と悪本画像の両方が確認できる『金石拓本典蔵 原石拓本比対—西狭頌』⁴（以下、『金石拓本典蔵』）を使用した。このうち、8、9 頁に掲載される冒頭 32 字を対象に縦画、横画、斜画、交点部分など点画の構成要素の一部を抽出し、画像解析をかけた。その際

2 JAXA EORC 「“ImageJ” による画像表示と 3D 画像作成方法について」2018.4
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d30/ImageJ_180425.pdf (2020.11.19 確認)

3 Kai Uwe Barthel (k.barthel at fhwt-berlin.de) Internationale Medieninformatik Berlin, Germany: <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/surface-plot-3d.html> (2020.11.19 確認)

4 谷国偉編著 2017.4 河南美術出版社

ImageJ で生成される 3D プロット画像そのものを比較するために、『金石拓本典蔵』の書影を 300dpi、400dpi、600dpi の 3 パターンの解像度でスキャンした。

また、「西狭頌」を使用した一つの理由には、摩崖の刻石であるため、原石の表面が碑刻ほどには整っておらず、摩崖の刻で今回の解析が有効であれば、石面の整っている碑刻でも有効である可能性が高いと考えられるためというものがある。

1 拓本画像解析時の問題点および値の設定

まず、この Interactive 3D Surface Plot の解析結果は明るい部分が凸となるように表示される。そのため、先述のように、刻面画像は刻線部分が凹な表面プロットが作成され、拓本画像では刻線部分が凸となる表面プロットが作成される。図 1 に示す「守」字の「寸」部分の縦画を表示した図 2～4 について、図 2 が通常表示した拓本画像の解析結果である。図 3 の同じ部分の原石の刻面の画像とは明暗が逆となるため、位相が反転した形が表示されてしまう。

拓本画像から刻の断面を推定するためには、刻線部分が凸となるような表示では難しい。よって、この視点を三次元的に回転させることによって刻線部分が凹となるように表示する必要がある。つまり z 軸で反転させたのち、xy 軸を画面表示垂直線に対して線対象となるように反転させる作業が必要となる。そのように回転させたものが図 4 である。この状態は本来の点画の位置関係の左右が反転した形となる。そのため、左右反転した状態であることを明記したうえでその断面を分析する必要がある。

ただし、この処理は拓本画像と原石画像との比較が必要な場合にのみ必要な処理で、拓本画像のみを使用する場合は z 軸の反転のみが最低限必要な処理である。その後の処理はそれぞれに対して見やすい角度に回転させるだけで良い。

この見やすい角度について、刻線の断面モデルを表示する場合、横画は文

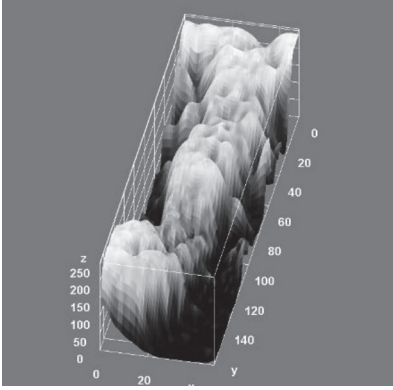


図 2



図 1



図 7

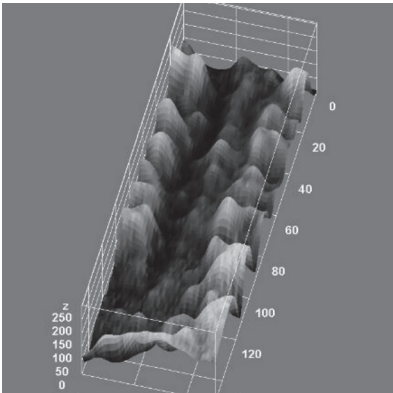


図 3

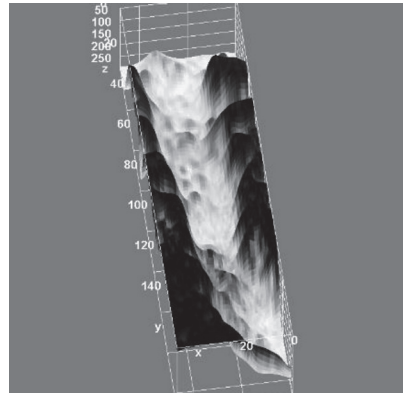


図 4

字に対して左右から表示することになる場合が多くなる。そのため、横画に対しては、図 5、6 のような反転が起こりうる。図 5、6 は図 7 に示す一文字目の「漢」字の隣の横画を抽出したものであるが、それぞれ画像中の矢印の向く方向は字画の上方向を指す。画像下部、直感的には手前部分に起筆部があるように回転させた。これにより、刻線としては図 4 と同じく、解析によって生成された擬似モデルの刻線内部の様子を観察が容易となる。

また、このスクリプトでは z 軸の高さである z-scale を調整できる。z-scale

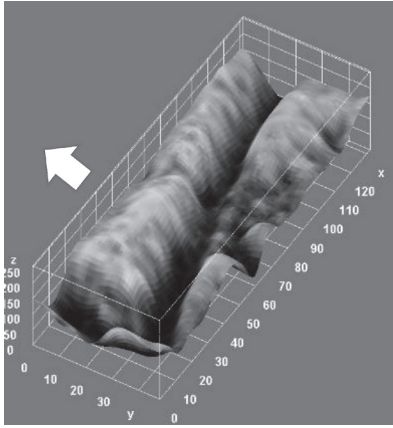


図 5

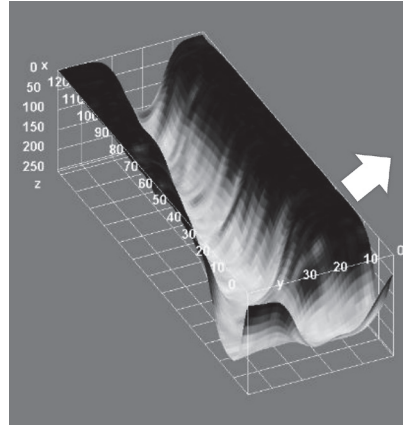


図 6

の値を大きくとれば画像に厚みが生まれるが、刻の擬似モデルには適さない。図 1～5 は z-scale の値を 0.26 で取っているが、拓本画像の解析では図 6 のように急激に深くなっている部分が見られ、原石画像で確認できる V 字型の谷の様子は観察できない。

そのため、この z-scale の値はより小さい方がよい。様々な値によって検証した結果、原石画像、拓本画像ともに 0.20 が適切であると判断した。図 1 および図 7 の部分の解析後、z-scale の 0.20 の値にした画像が図 8～11 である。

もう一点解析後に調整すべき数値として、Grid size の値がある。これは画像データの解析をかけるポイントの数を示したもので、32～1024 にある 2 の乗数の値を取る。値が大きければ大きいほど、解析をかけるポイントが多くなるため、実際の画像に近い Plot を取る。そのため本稿ではこの数値は最大値の 1024 で固定する。

そのほか任意に取れる値に Scale の値がある。これは解析後の画像の拡大縮小を行うための値で、0.25～3.00 の値が取れる。値が大きいかほど拡大表示されるが中心点の移動ができないため、拡大する場合には、拡大したい箇所を中心に範囲を選択して画像解析をかける必要がある。なるべく抽出部分

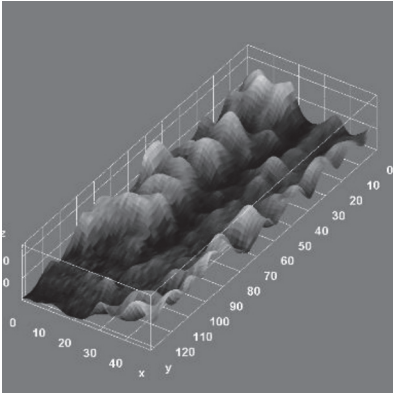


図 8

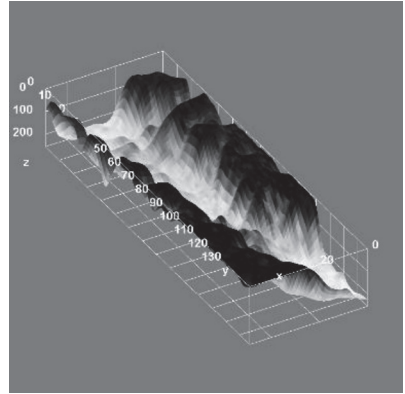


図 9

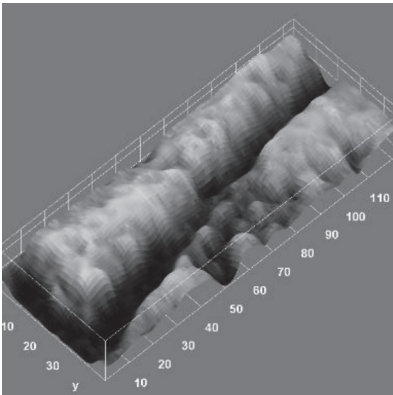


図 10

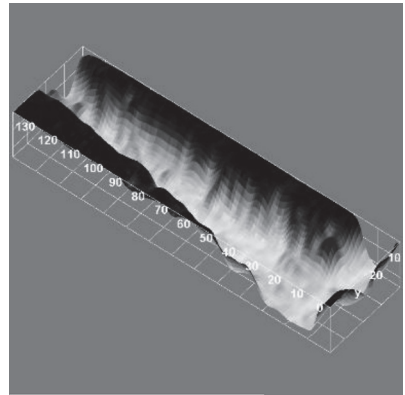


図 11

全体を画面内に収めるため、図 2 ～ 6 および図 8 ～ 11 は 1.58 に設定した。

2 解像度による比較

図 12 ～ 17 はそれぞれの解像度ごとに図 18 に示した「而」字の縦画部分を解像度ごとに比較をしたものである。さらにここでは Smoothing の値を調整し、厳密なプロット表示ではなく連続的な表示となるようにしている。Smoothing の値の調整が少なからず必要な理由としては、原石では表面の材

質による色合いの違いや、撮影時の光の反射による影響を低減でき、拓本では、原石表面の微妙な凹凸によって白くなる部分と文字の刻線部分との違いを明確にすることができるためである。この `smoothing` の値は、図 12、図 13 で 30、図 14、図 15 で 25、図 16、図 17 で 20 の値に設定した。



図 18

一般的に論文で使用される画像データは 300dpi とされるが、図 12、図 13 を比べると、300dpi を使用した解析では刻線部分とそうでない部分の境目、凹となるへりの部分で精彩を欠き、細部で異なる印象を受ける。400dpi と 600dpi の画像ではそのへりの変化まで類似した傾向を持った結果となり、擬似モデルとして問題がないように見える。ただし 600dpi では、書籍の印刷時のインクの付き方によるムラのようなものがわずかに出ている様子が確認でき、`smoothing` の調整によって面の Plot 表示には大きな問題はないが精細に過ぎて違和感と取れなくもない。逆に 400dpi では、そういった印刷上の問題もあまり見られず、書籍からの画像を使用する場合には解像度を上げすぎないことも必要になるであろう。ただし、この点については、引用元の書籍の図版そのものが小さかったり、粗い印刷だったりした場合には、どれだけスキャン時の解像度を上げたとしても、低い解像度に合わせられてしまう。

今回の『金石拓本典蔵』は、印刷のインクの色ムラのようなものは確認できるが、画像自体はかなり鮮明であり、通常よりも高画質な画像であることがうかがえるため、600dpi という高解像度のスキャンまで検証することができた。一般的に使用される画像データが 300dpi であれば、論文等からの画像を引用する場合の解析結果は、300dpi と 400dpi で変化が全くない可能性がある。

刻線内部の拡大や一つ一つの点画を見る場合、一般的な解像度の 300dpi の画像では不足が生じる。しかし、図 19、20（「武」字の構え上部分）のように、一つの点画に絞らず、複数の点画をまとめて解析をかける場合、

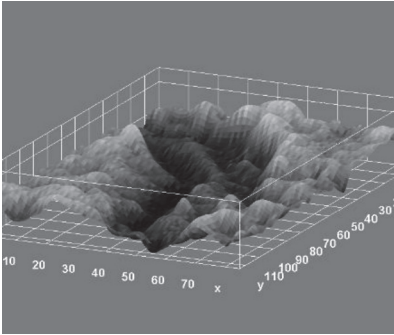


图 12

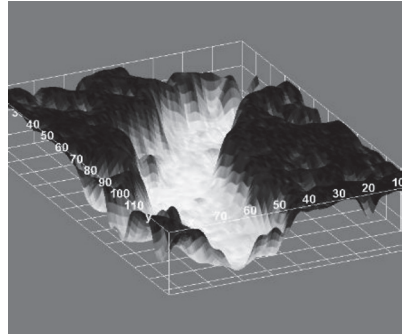


图 13

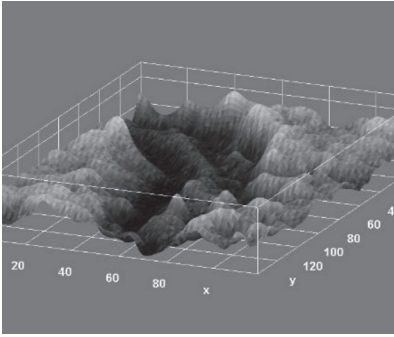


图 14

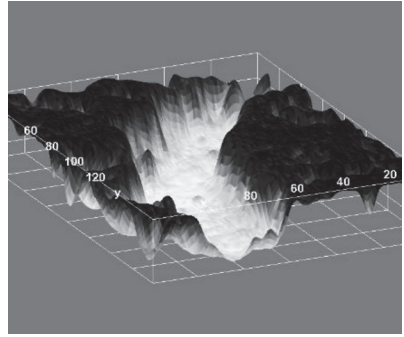


图 15

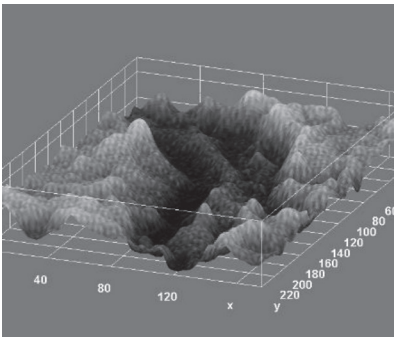


图 16

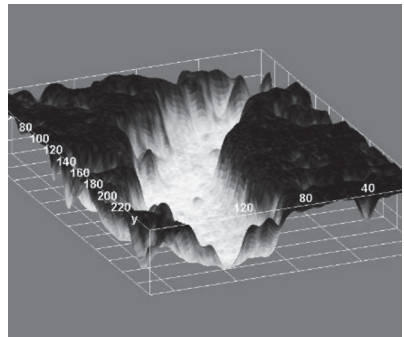


图 17

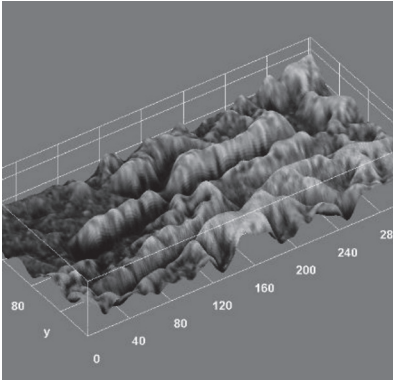


図 19

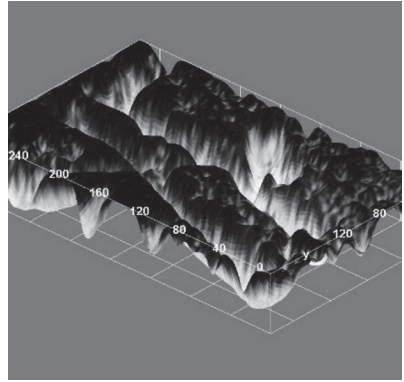


図 20

300dpi でも問題なく観察ができる。次節ではこの複数の点画をまとめて観察する例として、一字全体を解析した画像について取り扱い検討を行う。

3 文字全体像への解析

冒頭 3 字目の「都」字の原石画像および拓本画像の解析処理をしたものが図 21、22（解像度は 400dpi）である。原石画像の解析結果では刻線以外の部分の石面の色調の違いによって「邑」部分の周辺の凹凸の差が大きく、刻線部分のみ凹となるのではなく、刻線周囲部分のみ凸となっているように見えるほどに、刻線内部と同じ程度に凹である部分が確認できる。この点は拓本画像では刻線と明確に凹凸の差が出ている。

原石画像の石面に凹凸が実際の石面よりも大きく出てしまう原因には、石面の表面に現れる材質の結晶の色合いに違いがあることが考えられる。白っぽい材質であれば、解析結果のプロット位置にあたる z 値は大きくなり、逆に黒っぽい材質であれば解析結果の z 値は小さくなる。そのため、例えば図 23（解像度は 400dpi）に示す「悦」字のような刻線付近の材質が黒っぽいものであれば、刻線との深さの差がわからない程度の解析結果が出ることも起こりうる。

碑刻の中には石材の色味は均一であるが、全体的に黒っぽいものもあり、

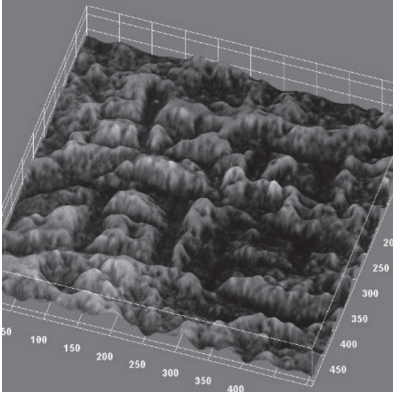


図 21

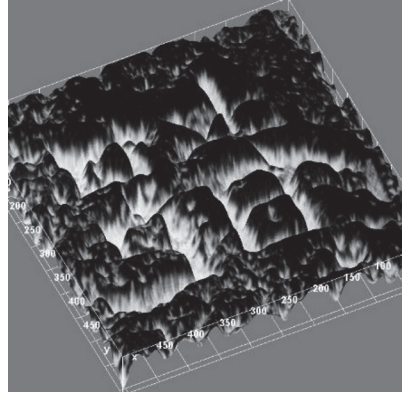


図 22

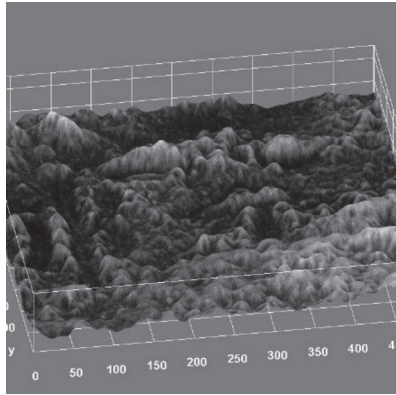


図 23

そのような碑刻の原石を撮影しても、期待するモデルが得られないことも考えられるため、原石画像を使用した分析には慎重を期す必要がある。

しかし、刻線のすぐ近くだけであればここまでの検討結果からわかるように、原石画像と拓本画像ではそれほど大きな差を生まず、刻線内部のモデルとしては有用である。とすれば、原石の表面の凹凸が大きく出る原石画像よりも、原石の表面を墨によって一定の色調にし、凹凸のある部分のみが墨の付き方の濃淡で表示される拓本画像を使用した方が、この問題にとらわれる

ことは少なく、適用できる場合が多いことが考えられる。つまり、このスクリーンを使用した解析で刻の擬似的モデルを作成する場合には、原石画像よりも拓本画像を使用する方が有用な可能性がある。

4 原石の欠落部分の解析

前節で述べたように、石材表面の色味に差がある場合や、刻線の周囲と刻線部分自体が同様に黒っぽい材質の場合、拓本画像を使用した方が今回の手法が有用な可能性が示された。これは石材表面の状態として普遍的なものと考えられるが、石刻において普遍的に起こりうる状態に、もう一つ、表面の欠落がある。

文字付近の表面に欠落がある場合にモデル形成が有効かどうか、一例として図 24 に示す「吏」字の上部を解析した。解析結果である図 25, 26（解像度は 400dpi）を見ると、一画目の横画の付近の欠落で原石画像では明確に刻線部分の端と深さに差があるのに対して、拓本画像の解析結果では同じ深さで刻線部分の端の様子は観察できない。これはおそらく拓本を取るときに食い込みが深すぎることによって、紙のしわや、薄くつく墨色などによる拓本上での色味に変化がつかなくなってしまったことに原因があると考えられる。

そのため、このような欠落がある部分に限れば、拓本画像からの擬似モデルの生成はうまくいかず、欠落部分を含む拓本画像から刻線の解析を進める手法は別で検証する必要がある。

ただし図 27 に示す「明」字の「月」部分のような細かな欠落の部分の場合は、図 28, 29 に示すように、影響があると思われるほどの差異が出ない場合もある。大きく割れるような欠落ではなく、細かく剥離を繰り返したことによる欠落の場合、欠落自体に深さの差があるため、拓本上に薄く墨がのり、その墨色の濃淡によって、実際の刻の形に近い擬似モデルが形成されることが考えられる。拓本の墨色の濃淡によって解析結果が変わることを踏まえ、前節までに述べてきたこととも合わせれば、この手法による刻の擬似モデル

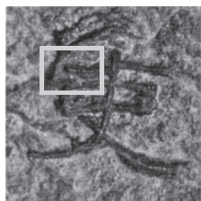


图 24



图 27

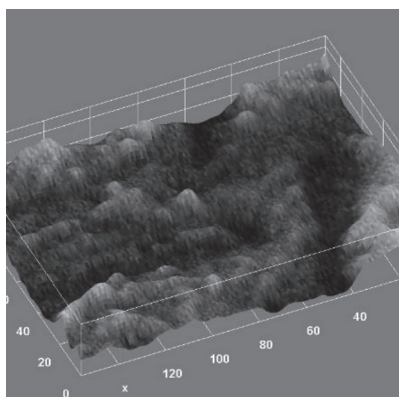


图 25

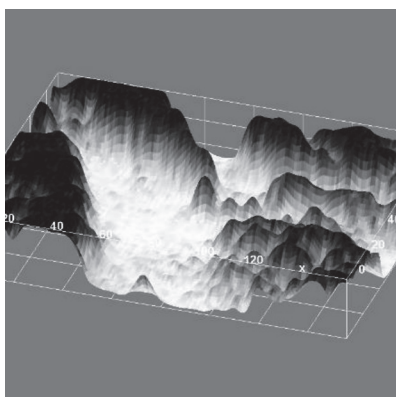


图 26

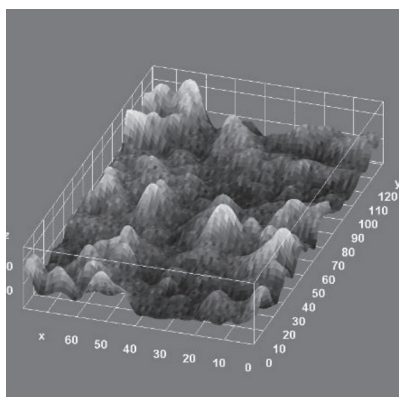


图 28

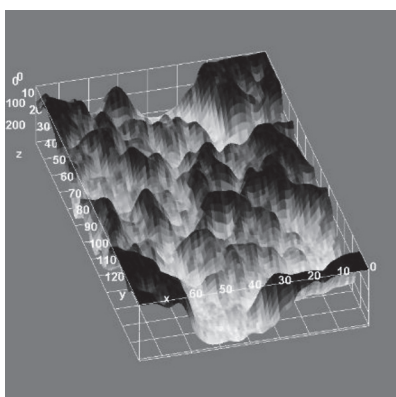


图 29

の生成は刻の抽出が細かければ細かいほど刻線の擬似的なモデルが正確に近づく可能性が高い。

結

ここまでの画像解析から、書籍に掲載される図版が精細な『金石拓本典蔵』においては、FIJI を使用した画像解析において、刻の断面画像の擬似モデル生成、および拓本画像を使用しても同様に検証が可能な部分があることが判明した。

拓本画像からの検証が難しいものとしては、点画の欠落などがあり、刻線のある程度の深さまで石面がすでに凹となっている場合である。また、原石画像と比較する場合、原石の表面の色そのものが黒っぽいと、実際の刻と違う結果となり比較は難しい。

むしろ原石画像の刻の断面図の Plot と拓本画像の刻の断面図の Plot を比較すると、刻の断面図の分析には原石画像よりも拓本画像を使用した方が特徴の分析を行える可能性もある。その対象たりうるのは、原石の石面に凹凸の少ない碑刻や墓誌銘などが考えられる。

さらには、元の画像データの解像度ともかかわると思われるが、刻の抽出が細かければ細かいほど今回の手法は有効な可能性も示唆された。

しかし、今回対象とした『金石拓本典蔵』の拓本画像である剪装本と違い、裏打ちのない拓本など、紙そのものの折り目が残るものの場合、その折り目による撮影時の光の当たり方のまばらさが、今回の画像解析に影響を与える可能性もあるほか、書籍などに掲載される図版を使用する場合、元の画像の解像度や鮮明さなどによっては、スキャンする際の解像度にかかわらず、擬似モデルの生成がうまくいかないことも考えられるため、画像解析による刻法分析に使用する資料や画像の選定には慎重を期す必要がある。

ImageJ を基本とした FIJI の解析機能には今回使用したもののほかにも様々な解析機能があり、画像を中心とした石刻研究に有用な解析機能があることも考えられ、それらの機能を複合的に使用することで、より客観的な数

値としての結果を刻の情報として整理できる可能性もあり、今後さらに新しく手法の構築をすることが望まれる。

参考文献

- JAXA EORC 「“ImageJ” による画像表示と 3D 画像作成方法について」2018.4
https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d30/ImageJ_180425.pdf (2020.11.19 確認)
- Kai Uwe Barthel (k.barthel at fhwtw-berlin.de) Internationale Medieninformatik Berlin, Germany <https://imagej.nih.gov/ij/plugins/surface-plot-3d.html> (2020.11.19 確認)
- Schindelin, J.; Arganda-Carreras, I. & Frise, E. et al. (2012) , "Fiji: an open-source platform for biological-image analysis", Nature methods 9 (7) : 676-682, PMID: 22743772
- 谷国偉編著「金石拓本典蔵 原石拓本比対——西狭頌」2017.4 河南美術出版社

要約

書道学領域における刻に関する研究は篆刻分野をはじめとして、数多く行われている。その刻の様相をとらえる上で、刻に表出する特徴、刻風を各字の比較などの研究手法によってとらえることはできても、拓本からではその刻の点画や、刻内部の様相をとらえることは難しい状況である。そこで、本稿では刻そのものをよりつぶさに観察、分析するための手法として、画像解析ソフト FIJI およびその追加プラグイン Interactive 3D Surface Plot を使用し、原石画像および拓本画像を解析することで、擬似的な刻の 3D モデルを形成し、そのモデルが刻法研究の実用可能か検討する。その結果、拓本画像の解析でも原石とはほぼ同様の解析ができるだけでなく、原石の状態によっては、拓本画像を使用した方がより実際の刻に近いモデルを形成しうることを示した。