

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：84604

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H01355

研究課題名(和文) 3次元データによる瓦の同範認識技術の基礎的研究

研究課題名(英文) Basic research on technology for recognizing eave tiles made from the same mold using three-dimensional data

研究代表者

林 正憲 (HAYASHI, Masanori)

独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・室長

研究者番号：10360851

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではSfM-MVSの技術を導入し、平城京・藤原京出土瓦の基準資料の精密な計測を通じて、従来「同範瓦」と認識されてきた資料の再検討をおこなうものである。将来的には、計測データを内外の研究者らに公開し、3次元データを用いた研究が主要な研究手法の一つとなることを目指した。主な研究成果としては、(1)SfM-MVSによる軒瓦の3次元計測方法を確立し、(2)その手法によって得られた3次元計測データを比較・検討することによって、考古学的研究への応用を可能にした。また(3)一部のデータをインターネット上で公開し、研究者間でのデータ共有を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、主観的に行われてきた軒瓦の同範認定について、SfM-MVSの技術を導入したことによって、簡便かつ客観的に認定することが可能となったことは、今後の研究に大きく資するものである。また、これまで行われてきた同範認定を再検討することによって、新たな考古学的知見の獲得や、従来の学説の再検討が期待される。

また、一部の3次元計測データをインターネット上で公開することによって、研究者間でのデータ共有を可能にしただけでなく、広く一般の方々にも研究成果を普及させることができた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we will introduce SfM-MVS technology and reexamine the eave tiles made from the same mold through precise measurement of the reference eave tiles excavated from Nara Palace Site and Fujiwara Palace Site. In the future, we aimed to make measurement data available to researchers in Japan and abroad, and to make research using three-dimensional data one of the main research methods.

The main research results are (1) establishing a three-dimensional measurement method of roof tiles using SfM-MVS, and (2) comparing and examining the three-dimensional measurement data obtained by the method, making it possible to apply it to archaeological research. In addition, (3) some data was made available on the Internet to enable data sharing among researchers.

研究分野：考古学

キーワード：瓦の同範 3次元計測 SfM-MVS

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) 「同範」研究の課題

奈良文化財研究所(以下、「奈文研」と略称する)では、平城京及び藤原京において継続的に発掘調査をおこなってきた。その過程で大量に出土する軒瓦は、これら都城遺跡の造営過程や構造の変遷を明らかにする上で欠くことのできない重要な資料である。また、同じ文様構成の瓦や、同じ型(あるいは「範」)で製作した瓦(以下、これらを「同範瓦」と称する)が日本各地の遺跡でも出土しているため、日本における古代瓦研究の基準資料として、集成・分類の成果である型式一覧を作成・更新してきた。現在最新のものは『平城京・藤原京出土軒瓦型式一覧』(奈良文化財研究所、1996年)であり、それには軒丸瓦が100型式312種、軒平瓦が84型式288種、計184型式600種が所収されている。

現在、日本の考古学における瓦の記録方法は、拓本と断面の実測図、写真が主な方法であるが、これら従来の手法では色調や質感のほか、瓦の相対年代を確定するための重要な証拠である型の傷(あるいは「範傷」)などの微細な凹凸を十分に表現することができず、特に「同範瓦」を認定するには、実際に実物資料を並べて比較する以外、効果的な方法がない。さらに「同範瓦」の認定自体も、観察者の経験値に依るところが大きく、客観的・数値的にどの程度相似するかが提示できなかった。また、比較したい資料の所在が別の機関、特に遠方の機関の場合、実物照合の実施自体が困難であり、機会が限定されるという問題もある。

このように、瓦研究においては時期・年代を決めるために重要な軒瓦の瓦当文様を、いかに客観的・効果的に計測・提示するかが、ひとつの大きな課題となっていた。

### (2) SfM-MVSの導入について

今世紀に入って以降、文化財の計測法としてレーザースキャナーによる三次元計測が急速に増加してきたことから、瓦当の三次元計測を上述の課題を解決する手法として考えたが、レーザースキャナー本体や解析ソフトが非常に高額であるとともに、計測にかかる時間・生じるデータ量ともに限界があったため、一般的な出土遺物である瓦の計測には、より汎用性の高い手法を模索する必要があった。

しかし近年になって、レーザースキャナー等の高額な機材や解析ソフトを必要としないSfM-MVS(Structure from Motion and Multi-View Stereo)の技術が普及するようになった。これは、カメラで撮影した画像から三次元データを構築する技術であり、高額なレーザースキャナーが不要で、かつ解析ソフトも比較的廉価とあり、汎用性が高い。しかも非接触で記録が取得可能であり、文化財の保護という観点からも有用である。

奈文研の埋蔵文化財センターでは、遺跡や出土遺物の調査技術の開発・応用に向けて、導入可能な価格帯かつ効果的な遺跡・遺物の記録法について開発・検討をおこなってきたが、本研究で扱うSfM-MVS技術についても、早くから試行を重ねてきており、近年では、SfM-MVSに関するワークショップや研修を積極的におこなってきた。瓦に関しても、センサーサイズの異なる様々なカメラで画像を撮影し、解析にかけたところ、考古学の分野で調査・報告の際に日常的に使用する程度のデジタル一眼レフカメラで撮影した画像から、SfM-MVS技術によって、範傷による微細な痕跡を反映した三次元データを取得し得ることが判明した。そこで、研究代表者及び研究分担者は瓦の計測方法の検討を開始し、これまでも撮影・解析の試行をおこなうなど、文様や微細な範傷の痕跡を含む瓦当の三次元データを効率的に取得する手法を検討してきた。

このように、カメラで撮影した画像と解析ソフトで三次元モデルを構築するSfM-MVSのソフト(Metashape(Agisoft社))が学界で流通するようになると、地方自治体や大学でも、特に遺跡・遺構の計測に積極的に用いられ、三次元による資料の記録は進んだものの、記録したデータを用いた考古学的研究はまだ極めて少ないのが現状である。

## 2. 研究の目的

本研究の最たる特徴は、SfM-MVSで高精度に取得した瓦当の三次元データを分析することによって、従来の瓦研究で習慣的に「同範瓦」と表現されてきた瓦を、どのように客観的に検証・修正し提示できるか、という点にある。そこで、平城京・藤原京出土瓦を題材として精密な測定結果から従来の同範認定の軌跡を検証することによって、三次元計測による同範認定のモデルケースとなるべく取り組み、他地域にも導入できるよう手法を確立することを目指した。

本研究の主な目的を整理すると概ね3点にまとめられる。

### (1) 先学における「同範」認定の検証と改善

先学の「同範」認定は、観察者の経験則に依拠していた部分が多いが、三次元計測による客観的データに基づいて、どのような特徴をもつ資料を「同範」として認定できるのか、学史的な検

討・計測値の分析を通して検討する。それをもとに、従来の同範認定の客観性を検証しながら、新たな同範認定の基準を設定するための試みを検討する。

## (2)「同範」認定の利便性・客観性の向上

日本の古代瓦研究の基準資料である『平城京・藤原京出土軒瓦型式一覧』掲載資料を三次元デジタル化することによって、従来に比べ、文様の特徴や範傷による微細な痕跡を明確に提示する。これによって、小片資料や他地域出土資料の「同範」認定が容易となり、研究の利便性が増す。さらには、従来指摘されてきた範傷の進行や摩耗具合、作範方法の比較など、これまで研究が困難であった分野についても研究を進めることができる。そして、将来的に本研究の成果をデータベースとして研究者・一般に公開できるよう、準備を進める。

## (3)瓦の記録法としての SfM-MVS による三次元計測の普及と研究法の開発

日本の文化財調査・研究において、SfM-MVS による瓦の三次元計測を普及させる。『型式一覧』掲載資料の三次元計測について、その手法や計測データ、さらには新たな研究法を提示することによってその利点を示し、日本の瓦の記録法のひとつとして SfM-MVS による三次元計測を普及・定着させる。そしてデジタルデータ上での比較検討を経て、自動的に同範認定ができるシステムの開発に向けた研究の端緒とする。

## 3. 研究の方法

まず計測に必要な機器等を購入し、基礎データを収集するために、『平城京・藤原京出土軒瓦型式一覧』掲載資料の三次元計測を順次開始した。それと併行して、計測方法やソフトウェアを用いて試行錯誤を行い、効果的かつ汎用性の高い瓦の三次元計測法の確立を目指した。さらに、得られた計測データと実資料の照合を行い、計測方法へのフィードバックを行った。

そして基礎データのある程度収集できた段階で、瓦当の三次元計測データを用いて同範瓦をいかに客観的に抽出するかについて、Cloudcompare などのソフトウェアを用いた分析方法を検討した。そしてその結果をもとに、新たな考古学的成果を導き出すことを目標とした。

そして最終的に、計測データで得られた成果を考古学的研究に応用した成果を論文として公表するとともに、三次元計測法についても現状での方法論について取りまとめを行った。また、三次元計測データについては一部をインターネット上で一般公開し、研究成果を研究者間で共有した。

## 4. 研究成果

### (1)SfM-MVS による軒瓦の三次元計測方法の確立

デジタルカメラ等で撮影した複数の写真画像から被写体の三次元情報を復元する SfM-MVS の技術で取得する三次元計測データは、使用したカメラ・レンズなどの機材や、解析に使用したソフト、それらの設定によって、データの粗密や信頼度に大きな違いが生じる。そこで、まずは本研究の遂行にあたって基盤となる軒瓦の瓦当文様の計測について、その手法を確立した。

なお、三次元計測には、資料の全形を計測する場合と、一部のみを計測する場合があるが、同じ精度のデータを取得しようとする場合、前者は後者に比べ、撮影枚数・処理時間・データ量が飛躍的に増加する。本研究は、同範瓦の瓦当文様の比較検討を主な目的としており、範傷など資料表面の微細な凹凸を記録するために、接写写真を多く撮影し、極めて高密度なデータを取得する必要があった。現段階における使用機材のスペックと解析時間、生成データの容量などを総合的に考慮した結果、資料の計測範囲は、基本的には文様の施された瓦当面のみとし、一部資料については解析の精度を落とし全形を計測することとした。

全体の流れとしては、まず写真を撮影し、記録した RAW データを現像することで解析に使用する TIFF の画像セットを取得、それをソフト Metashape (Agisoft 社) で解析し、三次元データを生成する。取得した三次元データを二次元に図化するにあたっては、オープンソースソフトウェアである CloudCompare を使用し、データの軸の調整と画像の書き出しをおこなう。

SfM-MVS による三次元計測は、写真を撮影する機材 (カメラ・レンズ) と撮影方法 (設定・アングル・枚数等) 解析の精度によって、得られるデータの粗密・質が異なってくる。また、大量の画像を処理するためには、スペックの高いワークステーション等が必要になる。計測の目的や、取得データの利用法を考慮し、それに適した撮影・解析方法を選ぶ必要がある。

### (2)三次元計測データの考古学的研究への応用

本研究では、先に記した計測方法に則って、平城京・藤原京出土軒瓦の三次元計測データを取得した上で、従来の考古学的研究にどのように応用していくかについて検討を行い、論文として公開した (中村・今井・林・岩永 2022、石田・新尺・中村 2022 など)。

これらの論文における重要な視点としては、これまで研究者の主観的な判断で行われてきた軒瓦の型式認定について、三次元計測データを参照することによって、より客観的な検討を行った点と、従来の研究では見落とされてきた視点が、三次元計測データから明らかとなったた

め、軒瓦の各型式を改めて分析することによって、新たな考古学的知見を得ることができたという点である。

特に、明らかに異なる瓦範による軒瓦について、三次元計測データ間において比較を行ったところ、文様の平面配置についてはかなりの精度で一致することを明らかにすることができた。これは従来の実物実見や、拓本や写真による比較では気づくことが難しく、三次元計測を行って初めて気づきうる視点である。そして、この視点は従来から指摘されてきた「瓦様」なる存在に迫る手がかりとなるものであり、「瓦様」の存在を前提としながら軒瓦の分布状況を改めて検討することによって、平城京に築かれた諸寺院における造瓦体制の関連性について、新たな歴史的背景を導き出すことが可能となるのである。

また、これまで瓦範の彫り直しとされてきた軒瓦に異範の可能性が指摘されたため、三次元計測データを用いて客観的かつ厳密な比較を行った結果、異範であることを明らかにすることができた。既に、これまでの肉眼等による型式認定の結果を三次元計測データで検討し直すことにより、一部は異範であることが判明しており、従来の主観的な型式認定に限界があることと、三次元計測データによる再検討の重要性が明らかになりつつある。また、拓本などでは表現しにくい瓦範の木目痕が三次元計測データでは明瞭に表現できることを示し、異範の判断の際に重要な指標となり得ることを証明した。

このほかにも、研究成果の中には大型品の破片を三次元計測することにより、破片をデータ上で接合・復元することによって、これまで全形が不明であった大型瓦製品の全容を明らかにしたものがあつた。これは考古学的研究だけではなく、遺物のレプリカ作成等の活用事例にも援用でき、極めて発展性の高い手法といえる。

このように、三次元計測データの応用は考古学的研究に大きく資するものといえるが、その着手は未だ端緒についたばかりである。今後、さらに三次元計測データの蓄積を踏まえた上で、それらと比較・検討し、従来の型式認定のみならず、そこから導き出されてきた歴史的見解についても再検討を行うと共に、新たな応用方法の開発についても、検討を深めていきたい。

### (3)三次元計測データの公開

本研究では、三次元計測データ間の比較研究の素材として、基準資料の三次元計測データを研究者間で共有することを可能とするために、本研究の過程で計測した三次元計測データの一部について、2種類の方式で公開することとした。

#### ・ 奈文研ホームページ上での公開

現在、奈文研ではホームページ (<https://www.nabunken.go.jp/publication/>) 上に「奈良文化財研究所収蔵品データベース」として、画像データの公開を行っている。そこに、新たに「軒瓦三次元計測データベース」を作成し、瓦当面のオルソ画像と三次元モデル、関連情報(テキスト)の3種類のデータを公開した。

現状では東大寺式軒瓦(78点)に限定した公開となっているが、本研究に関連して取得した三次元計測データは約700点に及ぶ。これらについても、随時公開していく予定である。

#### ・ Sketchfabでの公開

Sketchfab (<https://sketchfab.com>) は、世界最大の三次元モデルの公開・共有プラットフォームである。利用者は、アカウントを取得(登録・利用に関しては無料)するだけで、三次元計測データをアップロードして公開することができるため、非常に利便性が高い。

最大の利点は、公開されている三次元計測データを、他のユーザーがダウンロードすることが可能な点にあり、三次元計測データを研究者間で共有し、考古学的研究への応用することも可能となるなど、今後の研究の発展に大きく資する可能性を秘めている。ただし、ダウンロードの際にはクリエイティブ・コモンズ・ライセンスに則って、著作権の明示や利用目的の制限が課されており、それらを承諾した上で利用する必要がある。また、ユーザーがアップロード時にダウンロードの許可・非許可を選択することも可能となっている。

今回、本研究で取得した三次元計測データを Sketchfab にて公開するにあたって、研究代表者個人としてアカウントを取得するのではなく、奈文研の公式アカウントを取得し、それを用いてデータ公開を行った (<https://sketchfab.com/nabunken/collections>)。いずれのモデルもダウンロード可能とし、クリエイティブ・コモンズ・ライセンスについてはCC-BY(Creative Commons Attribution、著作権者の表示)を標記している。令和4年3月末段階でのデータ公開数は10点程度であるが、これについても、随時データ数を増やしていく予定である。

### <引用文献>

- 中村亜希子・今井晃樹・林正憲・岩永玲 2022「『瓦様』と瓦範 - 東大寺式軒丸瓦における同紋瓦・同範瓦の再検討 - 」『奈文研論叢』第3号、pp.1-37  
石田由紀子・新尺雅文・中村亜希子 2022「変形忍冬唐草文軒平瓦 6647C の再検討」『奈文研論叢』第3号、pp133-152

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 三好佑佳	4. 巻 26
2. 論文標題 SfM - MVSを用いた瓦の研究 -西大寺出土軒平瓦6732M型式と同型式派生系軒平瓦の比較 -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 奈良大学大学院研究年報	6. 最初と最後の頁 39-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 岩戸晶子・道上祥武	4. 巻 2021
2. 論文標題 天神山瓦様出土鴟尾の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 奈良文化財研究所紀要	6. 最初と最後の頁 22-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 今井晃樹	4. 巻 2021
2. 論文標題 昭和38年一乗院調査出の軒瓦	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 奈良文化財研究所紀要	6. 最初と最後の頁 180-183
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 岩戸晶子	4. 巻 2021
2. 論文標題 3次元モデルを活用した平城宮出土唐花文鬼瓦の復元	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 奈良文化財研究所紀要	6. 最初と最後の頁 194-195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村亜希子・今井晃樹・林正憲・岩永玲	4. 巻 3号
2. 論文標題 「瓦様」と瓦範 - 東大寺式軒瓦における同紋瓦・同範瓦の再検討 -	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 奈文研論叢	6. 最初と最後の頁 1-37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 石田由紀子・新尺雅文・中村亜希子	4. 巻 3号
2. 論文標題 変形忍冬唐草文軒平瓦6647Cの再検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 奈文研論叢	6. 最初と最後の頁 133-152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中村亜希子・今井晃樹・林正憲・岩永玲
2. 発表標題 三次元計測データで比較する同紋瓦と同範瓦 - 東大寺式軒丸瓦の再検討 -
3. 学会等名 日本文化財学会第38回大会ポスターセッション
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 林 正憲	4. 発行年 2022年
2. 出版社 天理時報社	5. 総ページ数 138
3. 書名 3次元データによる瓦の同範認識技術の基礎的研究	

〔産業財産権〕

〔その他〕

軒瓦三次元計測データベースの公開  
[https://jmaps.ne.jp/nabunken/list.html?keywords=&kwd\\_and\\_or=and&hlvl=1&bunrui=18&title=&list\\_type=LLA001&list\\_count=10&title\\_query=yes](https://jmaps.ne.jp/nabunken/list.html?keywords=&kwd_and_or=and&hlvl=1&bunrui=18&title=&list_type=LLA001&list_count=10&title_query=yes)  
 軒瓦三次元計測データベースを奈文研ホームページ上に開設し、現在78点を公開している。今後、公開数を増やしていく予定。  
 Sketchfab【公式】奈良文化財研究所  
<https://sketchfab.com/nabunken>  
 世界最大の3次元モデル公開プラットフォームであるSketchfab上に奈良文化財研究所の公式アカウントを取得し、そこにダウンロード可能な3次元計測データ(低解像度版)を10点掲載している。こちらに関しても、今後掲載数を増やすとともに、高解像度版を掲載していく予定。

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	清野 孝之  (SEINO Takayuki)  (00290932)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・副部長   (84604)	
研究分担者	金田 明大  (KANEDA Akihiro)  (20290934)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・センター長   (84604)	
研究分担者	石田 由紀子  (ISHIDA Yukiko)  (40450936)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・飛鳥資料館・主任研究員   (84604)	
研究分担者	岩戸 晶子  (IWATO Akiko)  (50359444)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・企画調整部・室長   (84604)	
研究分担者	山口 欧志  (YAMAGUCHI Hiroshi)  (50508364)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・研究員   (84604)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	今井 晃樹  (IMAI Kouki)  (60359445)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・室長   (84604)	
研究分担者	中村 亜希子  (NAKAMURA Akiko)  (60600799)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・客員研究員   (84604)	
研究分担者	森先 一貴  (MORISAKI Kazuki)  (90549700)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・主任研究員   (84604)	令和2年度より参加
研究分担者	岩永 玲  (IWANAGA Rei)  (90865586)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・研究員   (84604)	令和2年度より参加
研究分担者	道上 祥武  (MICHIGAMI Yoshitake)  (10827330)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・アソシエイトフェロー   (84604)	令和3年度より参加
研究分担者	清野 陽一  (SEINO Youichi)  (10721269)	独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・都城発掘調査部・研究員   (84604)	令和元年度まで参加

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	三好 佑佳  (MIYOSHI Yuka)	奈良大学大学院・文学研究科・大学院生	



6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	松島 隆介  (MATSUSHIMA Ryusuke)	奈良大学大学院・文学研究科・大学院生	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関