

研究ノート

## 3D 技術を応用した脆弱な青銅鏡の資料化について

玉川 剛 司  
下村 智

### 【要旨】

青銅鏡の中でも、特に小形仿製鏡の中には腐食や薄い作りで脆弱なものが一定程度ある。また、接合はできるが破片となった青銅鏡も存在する。これらを非接触の3D スキャニングレーザーで計測し、データ接合を行い3D プリンターで打ち出した。これによって、拓本（湿拓）をとることが可能になり、資料の細かい比較検討や展示資料、ハンズオンの資料としても有効であった。

### 【キー・ワード】

弥生時代、古墳時代後期、青銅鏡、3D スキャニングレーザー、3D 計測、ハンズオン展示

### I、はじめに

考古遺物の中には、青銅器や鉄器、土器・土製品、骨角牙製品、木製品や有機質の編組製品など脆弱な遺物が多くある。これらは保存処理をする前に実測図を作成するか、または、保存処理後に実測図を作成することになる。研究資料としては保存処理前から取り組まれるが、展示資料等に活用される場合は、残存状態の良いもの以外は保存処理を施したあと活用される。

今回は、脆弱な遺物の中でも弥生時代の小形仿製鏡や古墳時代の青銅鏡を例にとり、3D スキャニングレーザーで計測し、データ接合を行い3D プリンターで打ち出して検討を行った。これまで、脆弱な小形仿製鏡などは実測図で示されることが多かったが、従来の拓本（湿拓）資料と比較する際やや難を感じていた。拓本そのものも取り方によっては細部が表現しづらく、正確さでいえば実測図にはかなわない。鏡の拓本は資料化の1つの方法であり、江戸時代から行われているが、3次元の器物を2次元で表現する実測図と、器物の凹凸を墨拓によって黒と白で表現する拓本にはそれぞれに一長一短がある。今回、実験的に、拓本が取れない小形仿製鏡の拓本と破片になった古墳時代の青銅鏡の接合を試みた。あわせて、展示資料やハンズオンの資料としても有効であることが確認できた。

### II、青銅鏡の資料と3D技術による資料化

今回は、大分県竹田市に所在する石田遺跡と石井入口遺跡出土の小形仿製鏡、熊本県南区城南

町新御堂遺跡出土の小形仿製鏡、日田市所在の朝日天神山古墳1号墳から出土した変形五獣鏡を取り扱った。

## 1. 3D技術を用いた鏡の資料化

遺物の3D計測については、これまで青銅器の鋳型をスキャニングレーザーで計測し、鋳型から鋳造製品を復元した3Dモデルや、武器形青銅器の3D計測データから同範研究を進めてきた(下村・玉川2018a・2018b・2019・2020)。今回は、脆弱な遺物である厚みが薄い仿製鏡と割れた状態で出土した鏡を例として、3D計測によるその有効性を確認するために計測を行った。なお、鏡の3D計測については、これまでの方法と同じ手順で実施した。その方法を簡単に紹介したい。

本研究で使用した機器は3D SYSTEMS社のGeomagic Capture<sup>®</sup> Mini<sup>(1)</sup>で、機器を制御するソフトは同社のGeomagic Capture<sup>®</sup> Wrap<sup>(2)</sup>である。これらの機器やソフトを用いて鏡の3D計測を行った。次に計測した複数のデータを同ソフトにより編集し、鏡の3Dデータを完成させていくという方法である。また、割れた状況の鏡の場合は、破片ごとに3Dスキャニングレーザーで計測し、破片の3Dデータを編集・作製したのち、鏡面の凸レンズの面を意識しながら別のソフト<sup>(3)</sup>を使用してつなぎ復元した。これらの方法で作製した鏡の3Dデータをもとに3Dプリンター<sup>(4)</sup>で出力した鏡の3Dモデルの拓本を取り、資料化を試みた。

## 2. 石田遺跡と石井入口遺跡出土の小形仿製鏡

石田遺跡は、大分県直入郡久住町大字仏原字石田・宮田に所在する遺跡(宮内・高橋1996)である。同遺跡では古代、中世の掘立柱建物を中心とする主要な遺構が検出されており、弥生時代の遺構としては竪穴住居跡4軒、溝7条がある。その中でも残りの良い大型の住居跡である7号住居跡は、10.0m×9.34mの規模で残りもよい。南東辺の壁から50cm離れたところで小形仿製鏡が床面から10cmほど浮いた状態で出土した。竪穴住居跡の時期は出土遺物を総合的に勘案して後期中葉であると判断されている。

鏡は、完形品で「径は5.05cm×5.0cm。重さ12.3g。外周に断面半円形の突出部が巡り、内側には斜行する櫛歯文が34個並ぶ。その内側に8個の勾玉状文様が浮き上がり、中心部に鈕がある。文様のある面には赤色塗料の痕跡が残る。」と報告されている(図1)。全体的には文様が朦朧としており、内区の文様は見づらい。時期的には後期前半とされている。

そこで、まずこの鏡を3Dスキャニングレーザーで計測した。なお計測方法は、先述したとおりである。

図2-1は現状の写真で、2は3D図による展開図である。3Dデータの図2-2をみると、狭縁で内側の粗い斜行の櫛歯文と、その内側に八つの半円形の隆起した文様が鮮明に確認することができる。この八つの半円形の隆起した文様の内、図の右側の二つは櫛歯文の圏線から延びているように見られる。このことから、図2-1の現状の写真よりも、3Dデータ化した図2-2の方が鮮

3D技術を応用した脆弱な青銅鏡の資料化について（玉川・下村）  
 明に視認でき、より詳細な観察をすることが可能であった。

この鏡は、田尻氏の重圏文系小形仿製鏡第1型え類に分類（田尻 2012）された資料である。これまで実測図しかなかったので、細部が見づらかったが、今回の3Dモデルから拓本を取ることができて、鏡背面の文様構成をより細かく示すことができた。

次に、石井入口遺跡の住居跡から出土した小形仿製鏡についてみておきたい。この資料はこれまで多くの検討がなされ、韓国魚隠洞遺跡出土の鏡と同範関係（小田 1882、小田・

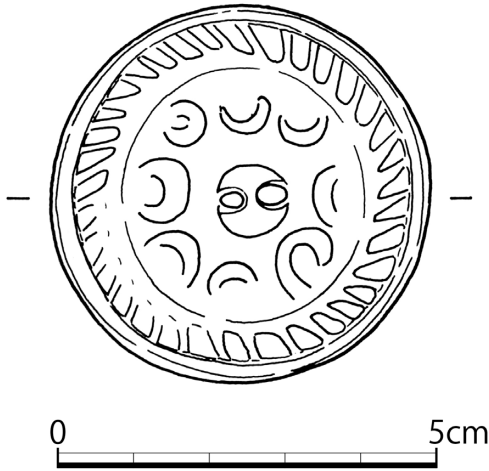


図1 石田遺跡出土鏡実測図 (S=1/1)

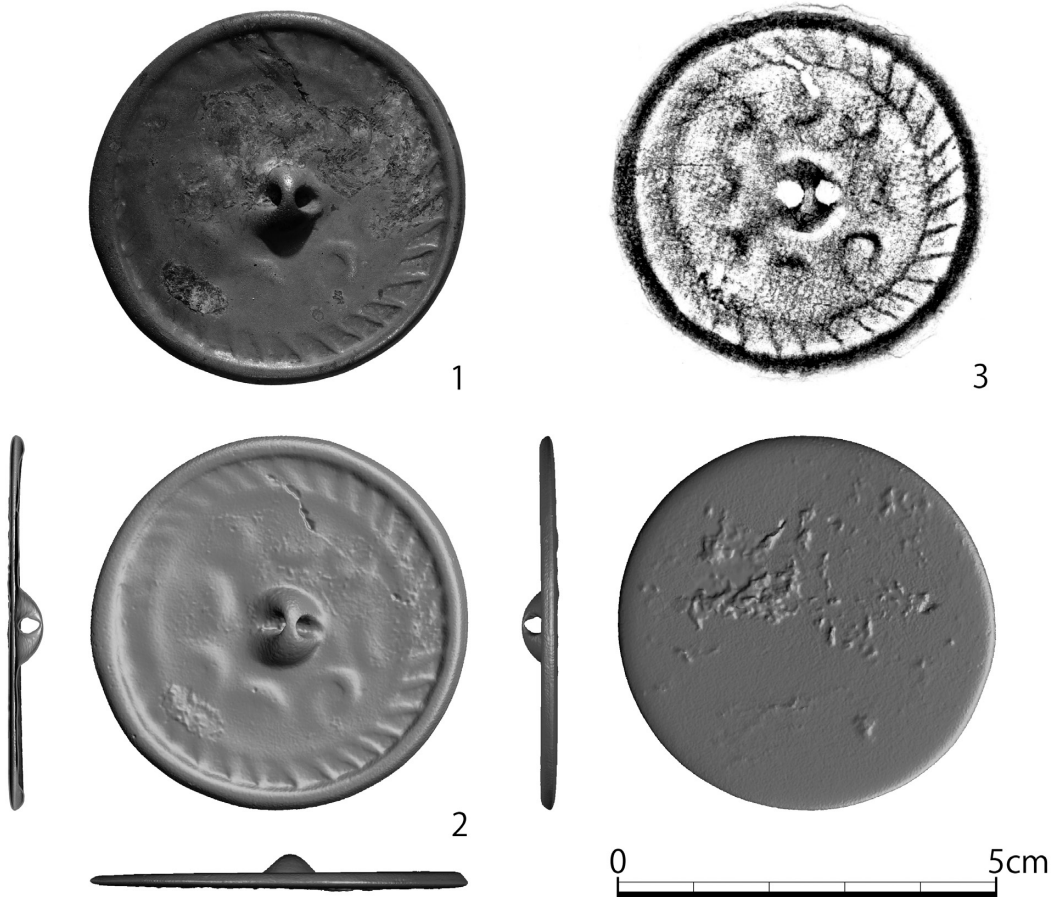


図2 石田遺跡出土鏡の現状写真1と3D図2、拓本3 (S=1/1)

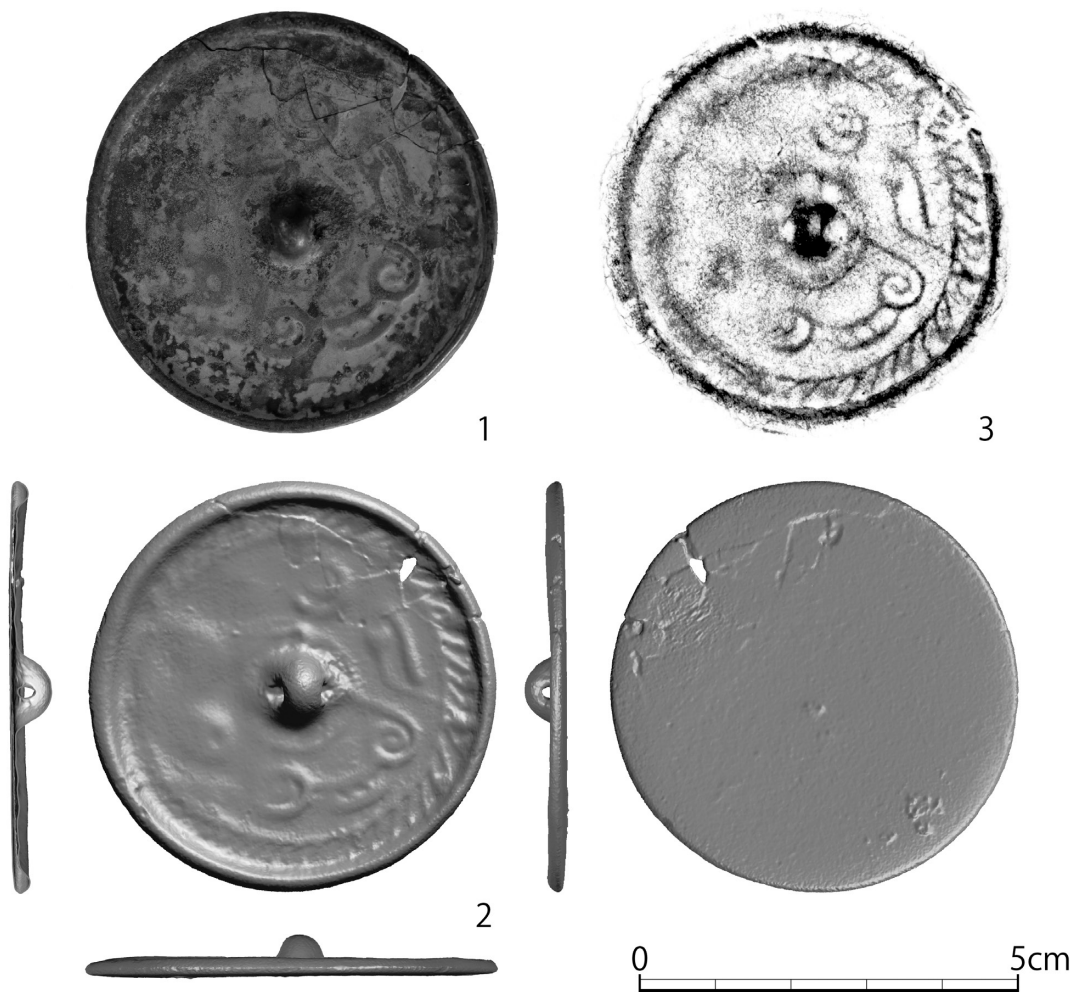


図3 石井入口遺跡出土鏡の現状写真1と3D図2、拓本3(S=1/1)

韓 1991、高倉 1972、高橋 1992、田尻 2012、南 2019) が示されている。この鏡を3D スキャニングレーザーにより計測し、鏡の3D データを作製した(図3)。

図3の1と2を比較すると、1では鏡の表面の付着物や緑錆の濃淡により櫛歯文の状況、その内側の文様帯の位置と形状、鈕座の形状など明確に視認できない。しかし、2の3D図をみると、鏡表面の色情報がなくなったことにより、櫛歯文の数や斜行の角度、その内側の圏線から延びる文様、鈕座の圏線から延びた渦巻文が二つとその間の重弧文と三本の斜線などが明瞭に確認することができる。

また、図3-2左側の3D断面図から、内区の厚み0.5～1.0mm、鏡の縁の厚み2.1～2.2mmであることが確認できた。さらに、図2-2鏡背面の3D図をみると向かって左側の方が縁側の櫛歯文やその内側の文様のはっきりしない状況や、縁の幅が全周で一定の幅ではなく左側が3.5mmであるのに対し、右側にいくにつれ幅が2.1mmと左側の方が1.4mm広いことから、こちら側が



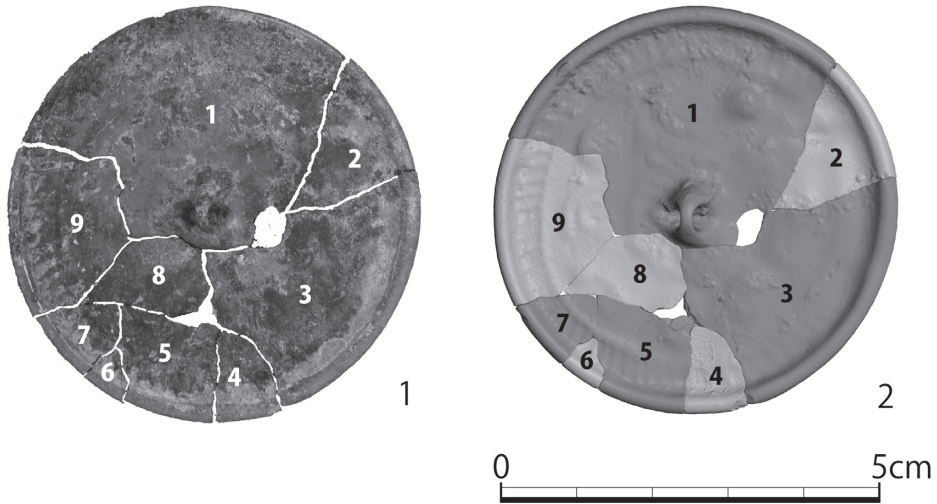


図4 新御堂遺跡出土鏡の写真1と接合3D図2 (S=1/1)

湯口である可能性が考えられる。

図3-3は3Dモデルの拓本である。原鏡では、和紙を押し込めず細部を示しづらかったが、3Dモデルではより鮮明に拓本をとることができた。

### 3. 新御堂遺跡出土の小形仿製鏡

熊本市南区城南町の新御堂遺跡（清田 2003）から、漢式鏡の破鏡と小形仿製鏡が複数出土している。その中で、狭縁できわめて脆弱な小形仿製鏡がある。後期前半から中頃に属するとみられ、竪穴住居跡からやや浮いた状態で出土した。出土時に破損し、現在では数片に割れている。さらに、2016（平成28）年の熊本地震で演示台から落下し、破片数を増した。1mmにも満たない厚さでとても拓本が取れる状況ではない。文様も朦朧としており、鏡面にはわずかに渦文状の隆起線が残っているが、全体の文様は読み取れない。これまで、「無文鏡」、「素文鏡」とされてきたものである。

この鏡について、3D スキャニングレーザーにより破片を1点ずつ計測し、ソフトによる接合を行った後、3D プリンターで打ち出し本来の小形仿製鏡を再現した。

実際の計測方法については先述したとおりであるが、補足として実際の計測の方法については以下のとおりである。

計測した鏡の破片は、計9点となる。9点の破片を全て3D計測し、ソフト上でそれぞれの破片を接合し、鏡を復元した（図4）。破片を接合した状態で作製したのが図5の3D図である。図5をみると、狭縁の内側に斜行の幅が狭い櫛歯文と、その内側に渦巻状の文様が1か所で確認できることから、文様帯が存在する。

本鏡は接合後径5.2cmを測り、外側から狭縁の鏡縁、櫛歯文帯、圏線、文様帯、圏線、櫛歯文

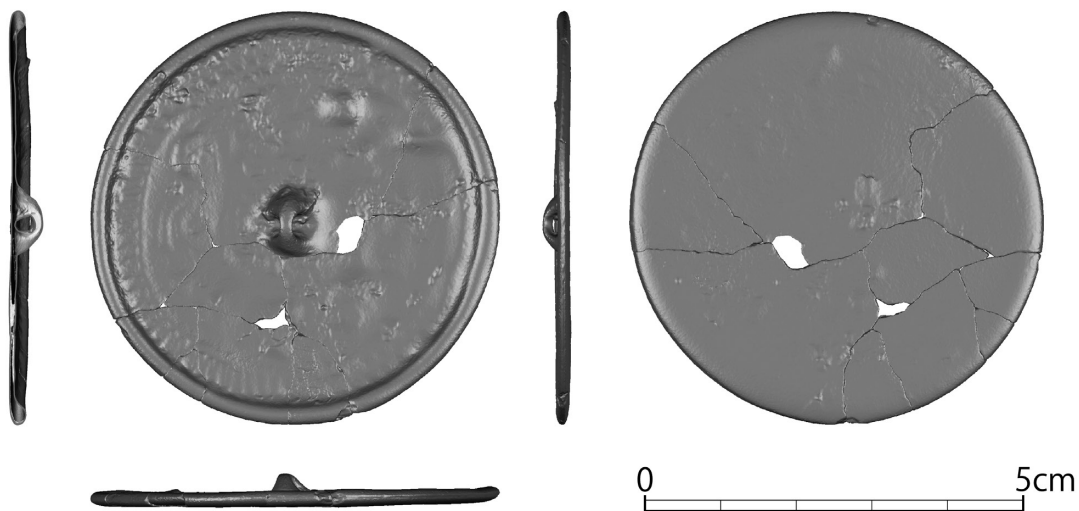


図5 新御堂遺跡出土鏡の3D図 (S=1/1)

帯、鈕となる。3D図と3Dプリンターで出力した3Dモデルからの拓本(図6)でかろうじて確認できた。

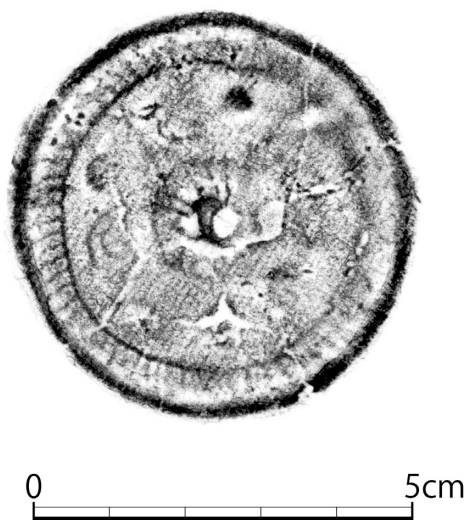


図6 新御堂遺跡出土鏡拓本 (S=1/1)

#### 4. 朝日天神山古墳1号墳出土の変形五獣鏡

朝日天神山古墳群は、日田市朝日地区に所在する前方後円墳2基からなる古墳群である。1号墳は1928(昭和3)年、天満社建設によって後円部の石室が壊され、鏡、鉄刀、鉄鍬、馬具類、土器(須恵器・土師器)などの多量な遺物が出土した(真野1976)。変形五獣鏡はその時出土したもので、本来は完形であったものが現在では10数片に割れている。残りは良く、脆弱ではないが細かく割れているため、扱いは難しくな

っている。

そこで、鏡の破片全てをスキャニングレーザーで計測<sup>(5)</sup>した。計測・編集した3Dデータ同士を真上から(平面)と側面から確認しながら接合するという手順(図7)で接合し、鏡の3Dデータを作製した(図8)。

図7-1の写真からの現状では、緑錆の濃淡や織物の繊維等が部分的に付着しているため、文様が不明瞭となっているのが分かる。また、破片ごとにその表面の色調がことなることから文様がハッキリしない要因となっている。しかし、図8の3D図をみると、外区の二重の陽起鋸歯文帯、

複線波文帯、櫛歯文帯、内区の獣文の形状が明瞭に確認することができる。また、各獣文の間には、鱗状のC字形を呈した短い線で構成される浮彫の文様が鮮明に確認することができる。

図9は、各鏡片の3Dデータを接合し、3Dプリンターで出力した3Dモデルの拓本である。以

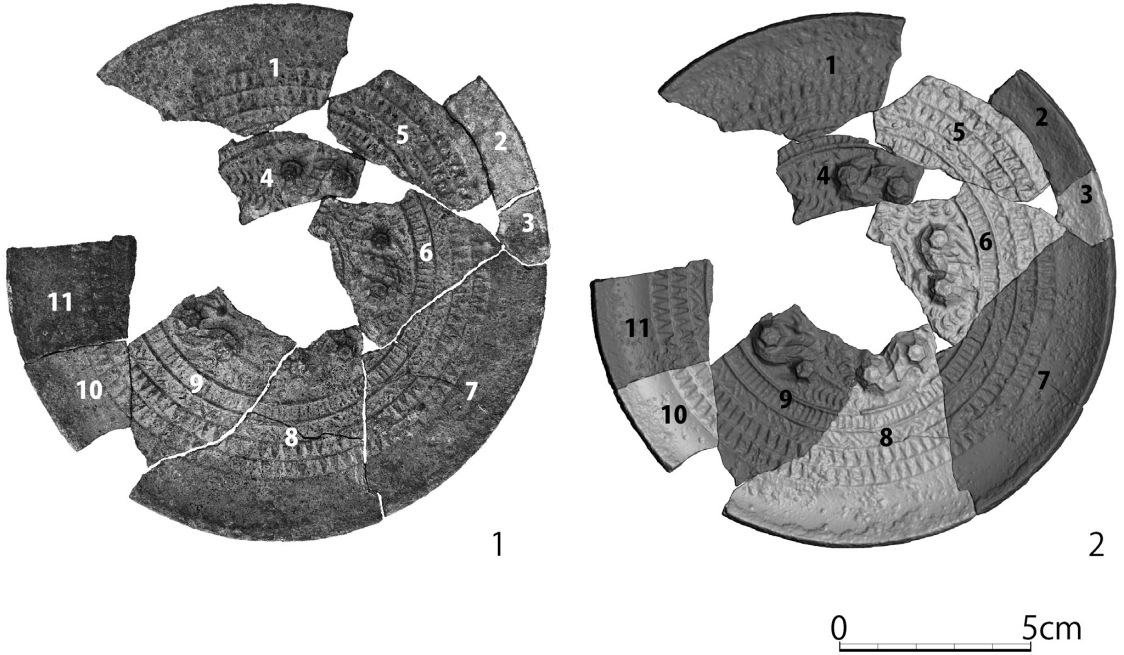


図7 朝日天神山1号墳出土変形五獣鏡の写真1と接合3D図2 (S=1/2)

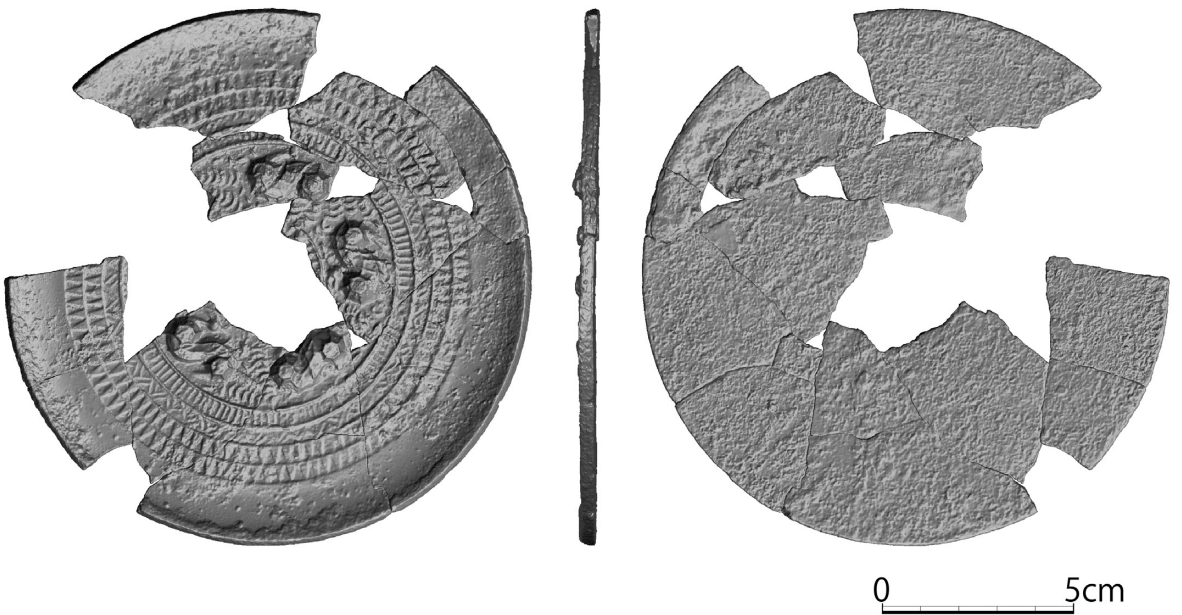


図8 朝日天神山1号墳出土変形五獣鏡3D図 (S=1/2)



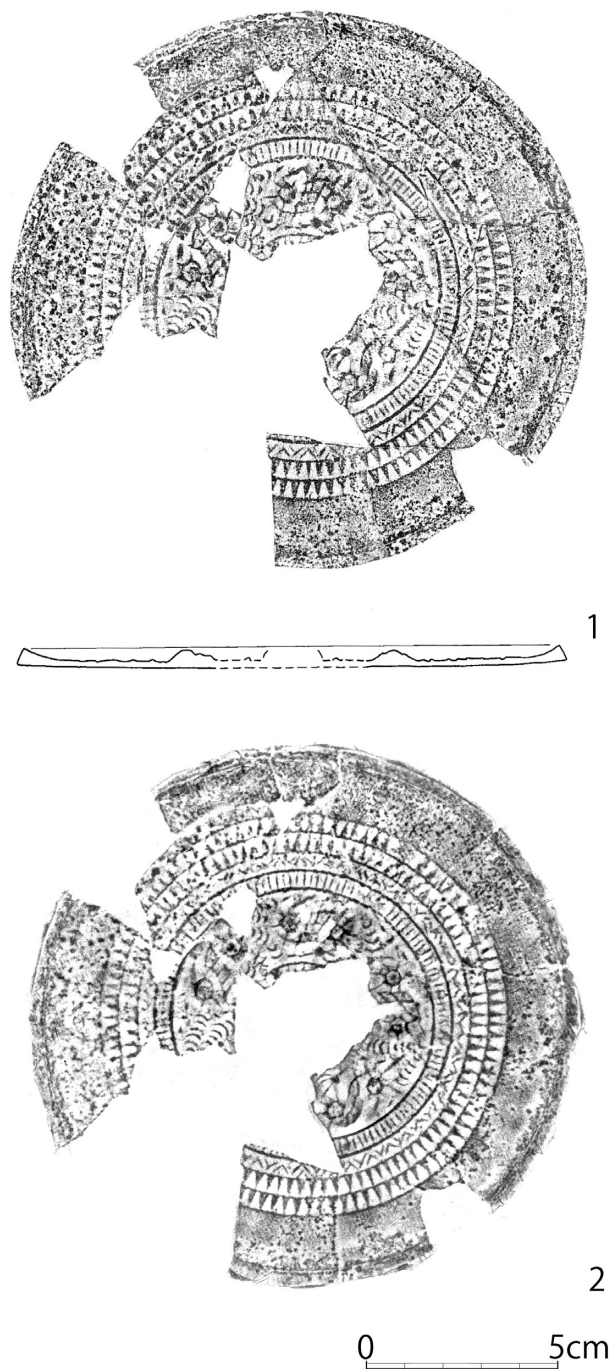


図9 朝日天神山1号墳出土変形五獣鏡の既報告図1と今回取得拓本2 (S=1/2)



前報告した拓本(若杉 2005)は、破片を一つずつとって貼り合わせたものである。既報告の拓本は、接合線や破片の濃淡がやや目立っている。3Dモデルでの拓本は接合したものを一体としてとつたため、全体的に一体感があるのと同時に原鏡では表現できづらかった細部の文様がより出ているように見える。原鏡では破損を恐れて細部まで和紙を押し込めず、細部があいまいとなって残ってしまう場合があった。3Dモデルの場合は、この点がかなり解消されることになる。

### Ⅲ. 脆弱な遺物の3D技術を応用した資料化と活用

これまで取り扱った資料は既に報告されているもので、その位置づけも個々に検討されている。しかし、石田遺跡と新御堂遺跡の小形仿製鏡については3D計測、3Dプリンターでの打出しによって初めて拓本(湿拓)をとることができた。今後、このような方法を応用して資料化を行っていけばさらに細かい検討が可能となろう。

先にも記したが、3D技術を応用した資料化と活用について触れておきたい。

今回紹介した遺物の3D計測では、鏡の表面の青錆の濃淡により不鮮明であった文様が、スキャニングレーザーで計測し3Dデータ化することで、その色情報がなくなり文様が鮮明に確認できるなどメリットが多い。そこで、3D化によって生じるメリットとデメリットについて述べていきたい。

メリットとしては、先述したように厚みが薄い小形仿製鏡に対しては、脆弱であるため図化や拓本をとるなど資料化をする際に、細心の注意を払う必要がある。そのため、正確な図化や拓本などの資料化ができない可能性がある。しかし、計測した3Dデータから、3Dプリンターで出力した3Dモデルを扱うことで、正確な資料化をすることが可能となる。また、災害等で遺物そのものが破損した場合には、3D計測で取得した3Dデータを基に修復・復旧するのに利用することができるという大きな利点がある。次に、3Dプリンターで作製した3Dモデルは、そのまま博物館等でハンズオン資料として展示することが可能である。実際に、本学附属博物館では、銅戈の3Dモデルをハンズオン資料として展示している。本学でのこの展示は、実際にモノに触れるという行為によって、教育的効果をより一層はかるために実施している。さらに、発掘調査等で出土した際に割れた状態で発見された鏡については、その割れた状況(割った行為)が大事であるため、これまでは鏡の破片そのものを実際に接合せずに資料化してきた。しかし、3Dデータの場合、今回のように3D計測することで、3Dデータを接合することができ、その接合資料を研究や博物館における教育活動に資することができる点もメリットとして挙げることができよう。

では、デメリットについてはどうであろうか。3D計測や3Dデータを作製する編集に関しては、熟練度が必要となり、その養成に時間がかかること。また、計測するための3Dスキャニングレーザーと制御・編集するパソコン、編集用ソフトなど多くのコストがかかるという点が一番大きなデメリットである。

本論に関連して3D計測に伴うメリット、デメリットについて述べてきた。3D技術を応用した資料化については、メリットとなる点が多く、その研究の可能性も広がるという特徴がある。しかし、遺物（一次資料）に対し3D計測したデータ（二次資料）は、機械の誤差等も含め100%のデータではないことを考えながら、より正確なデータが計測できるように3D計測する必要がある。

#### IV. おわりに

今回4例の青銅鏡について3D技術を応用して資料化を図った。弥生時代に属する3面の脆弱な小形仿製鏡と、1面は古墳時代後期の細かく割れた五獣鏡を取り扱った。

竹田市の石田遺跡鏡は後期中葉の竪穴住居跡から出土したもので、鏡背は狭縁に粗い反時計回りの櫛歯文帯、圏線、文様帯、鈕からなる。文様帯の文様は既に報告したとおりである。本鏡は、田尻氏の重圏文系小形仿製鏡の第I型え類に分類（田尻2012）されたもので、竪穴住居跡は後期中葉であるが、「後期前半に属する韓鏡とされ、同範鏡は存在しない」と報告（宮内・高橋1996）されている。

同じく竹田市の石井入口遺跡鏡は、石田遺跡鏡と近い遺跡のため資料化を行った。狭縁で韓国の魚隠洞遺跡鏡の1つと同範鏡であることは多くの研究者の指摘する通りである。今回拓本を取り直してみると文様がより鮮明に見えた。

熊本市の新御堂遺跡鏡は、極めて脆弱で3D技術を応用しなければ資料化できないような状態であった。原鏡でもうっすらと櫛歯文と渦巻文か蕨手状文が観察されたが、3Dモデルから拓本をとってみるとより文様が分かりやすかった。鏡縁は狭縁で、内側に向かって、反時計回りの間隔の狭い櫛歯文帯、圏線、文様帯、圏線、櫛歯文帯、鈕となる。文様帯の全体の文様は確認できなかった。田尻氏の小形仿製鏡集成表（田尻2012）には重Iと記載され、狭縁の小形仿製鏡に分類されている。

日田市の朝日天神山古墳1号墳出土鏡は変形五獣鏡で、破片を3D技術で接合して拓本を取り直してみた。破片を個別にとって繋ぎ合わせたものと、接合した3Dモデルで拓本をとったのでは大きくは差がなかったが、3Dモデルは鏡面の破損を気にせずにとれるのでやや細部が表現しやすかった。

遺跡から出土する鏡は、脆弱なものや調査時に割れたり、破碎して副葬されるものなどがある。破碎して副葬された鏡は破碎面が重要なので接合することができない。しかし、3Dモデルでは接合が可能である。今後、3D技術を応用した資料化は、研究、展示資料等活用の幅が大きく広がるものと考えられる。

本稿は、私立大学研究ブランディング事業（平成28～平成30年度文部科学省）の成果の一部である。資料調査に当たっては、大分県立歴史博物館越智淳平氏、大分県竹田市教育委員会城戸

誠氏、熊本市塚原歴史民俗資料館清田純一氏の各氏には大変お世話になりました。末筆ではありませんが心より感謝申し上げます。

[註]

- (1) (カタログスペック) スキャン速度：985,000 点 / スキャン (0.3 秒 / スキャン)、解像度：0.080mm (近距離)、0.100mm (遠距離)、精度：0.034mm、スキャン範囲：87 × 68mm (近距離)、88 × 87mm (遠距離)
- (2) 遺物の材質やその現状に合わせ、計測できるように支持材で安全に回転できるように遺物を設置した。
- (3) Geomagic® Freeform® ProJet®
- (4) MJP 2500 (カタログスペック) 造形：UV 硬化プラスチック、積層ピッチ：32 ミクロン、解像度：800 × 900 × 790dpi、精度：± 0.004 インチあたり (± 0.1016mm/24.5mm)
- (5) 図 8-1 の鏡片 4・5・11 については計測した機種が異なる。計測に使用した機種は、Solutionix C500 (Solutionix 社製) で、カタログスペックは、解像度 500 万画素、精度 FOV90 → ± 10 μ m (± 0.01mm)、距離 555mm である。

引用・参考文献

- 小田富士雄 1882 「I 竹田市新出の朝鮮系小洞鏡について」『菅生台地と周辺の遺跡』VII 竹田市教育委員会
- 小田富士雄・韓炳三 1991 『日韓交渉の考古学』(株)六興出版
- 木村俊英・玉川剛司・渡辺智恵美 2022 「3D 計測を活用した青銅鏡の修復」日本文化財科学会第 39 回大会 2 日目ポスター発表
- 清田純一編著 2003 『宮地遺跡群』城南町文化財調査報告書第 13 集 城南町教育委員会
- 下村智・玉川剛司 2018a 「熊本市八ノ坪遺跡出土の銅戈鋳型について」『別府大学大学院紀要』第 20 号 別府大学
- 下村智・玉川剛司 2018b 「熊本市八ノ坪遺跡から採集した石製鋳型の検討」『史学論叢』第 48 号 別府大学史学研究会
- 下村智・玉川剛司 2019 「大分市岩屋遺跡出土の細形銅戈と住吉神社所蔵細形銅戈の同範関係について—3D 計測と 3D モデル製作による細部の検討—」『史学論叢』第 49 号 別府大学史学研究会
- 下村智・玉川剛司 2020 「熊本市八ノ坪遺跡と白藤遺跡出土の瀬尾銅器鋳型について—3D モデル製作と出土資料との比較検討—」『史学論叢』第 50 号 別府大学史学研究会
- 高倉洋彰 1972 「弥生時代の小形仿製鏡について」『考古学雑誌』第 58 号巻 3 号 日本考古学会
- 高橋徹 1992 「第 5 章まとめ (2) (E) 鏡」『菅生台地と周辺の遺跡 XV 石井入口遺跡石井入口北遺跡』大分県竹田地区遺跡群発掘調査報告 竹田市教育委員会
- 田尻義了 2012 『弥生時代の青銅器生産体制』(財)九州大学出版会
- 真野和夫 1976 『大分の歴史 (1)』大分合同新聞社
- 南健太郎 2019 『東アジアの銅鏡と弥生社会』(株)同成社
- 宮内克己・高橋信武編著 1996 『市第 I 遺跡・石田遺跡』県営担い手育成基盤整備事業都野東部地区に伴う発掘調査報告書 I 久住町教育委員会
- 若杉竜太編 2005 『朝日天神山古墳群』日田市埋蔵文化財調査報告書第 60 集 日田市教育委員会