

文化財の三次元計測の現場から

宮前 知佐子^{1,*}

●キーワード：三次元計測 (3D measurement), デジタルアーカイブ (digital archives),
バーチャルリアリティ (virtual reality, VR), 3D スキャニング (3D scanning),
精度問題 (accuracy issue)

1. 三次元計測のはじまりから文化財分野への応用

1.1 三次元計測技術の発展

三次元計測とは、対象物に対して、三次元空間内における対象物のある一点の位置座標を読み取ることである。そして、三次元計測を行うための装置である「三次元測定機」は、JIS B 7440 シリーズによれば、「三次元座標測定機」として定義づけられている（日本工業標準調査会：2013）。この JIS B 7440 シリーズは、ISO 10360 シリーズの規格と整合したものである（株式会社ミットヨ：2013）。しかし、「三次元測定機」と、「立体形状を把握するため」に用いられている「デジタイザ」或いは「3D スキャナ」などと呼ばれる機器とでは、だいぶ趣きが異なるように見える。もちろん、機器の区分や名称は、各メーカーによってばらばらであるし、「デジタイザ」や「3D スキャナ」と呼ばれる機器も、基本的には、「三次元測定機」と同様、三次元空間内において、ある点の位置座標を読み取る装置である。なお、本稿での「3D ス

キャナ」の定義は、Boehler らのレーザースキャナの定義にならない、「対象物の表面の三次元座標データを、自動かつ規則的に、高速に、ほとんどリアルタイムに取得できる機器」とする（Boehler and Marbs：2002）。

三次元測定機の誕生から発展については、ファロージャパン株式会社の『3次元測定徹底ガイド』にまとめられている（ファロージャパン株式会社：2013a）。以下、一部抜粋しながら、三次元測定機の変遷についてまとめる。

三次元測定機の出現以前、物の寸法を測定するためには、ノギスなどが用いられてきた。それらは一次元の測定機であり、三次元の測定を可能とした装置が登場するのは1960年代である。1960年代、NC 工作機械の普及に合わせて、立体的な測定が可能となった測定機が登場。1980年代になると、従来の大きく重い据え置き型の三次元測定機とは全く異なる装置が誕生する。それは、多関節アーム型の三次元測定機で、機器そのものを移動させることができるタイプである。この可搬性をもつ三次元測定機はさらなる発展を遂げ、レーザーを用いて計測

表1 日本文化財科学会における三次元計測技術を用いた研究の発表件数および割合

Table 1 Percentage of articles that discuss the studies using the 3D measurement techniques, presented at the annual meeting of Japan Society for Scientific Studies on Cultural Properties

発表年	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
全発表件数	104	108	106	114	121	122	110	104	173	154	161	212	195	193	153	225
三次元計測発表件数	1	1	2	3	4	5	4	9	6	5	1	8	9	12	10	13
三次元計測発表割合(%)	1.0	0.9	1.9	2.6	3.3	4.1	3.6	8.7	3.5	3.2	0.6	3.8	4.6	6.2	6.5	5.8

¹⁾ 凸版印刷株式会社文化事業推進本部 デジタル文化財開発部 〒112-8531 東京都文京区水道1丁目3番3号

²⁾ 東京工業大学大学院社会理工学研究科 〒152-8552 東京都目黒区大岡山2丁目12-1-W8-72

を行うタイプが現れる。非接触になった三次元測定機は、従来、測定対象外であった複雑なデザインのもの、大型のものや、やわらかいものの測定も可能にした。

こうした三次元測定機の進歩は、複雑な表面形状を持つ文化財の三次元計測も可能にし、文化財分野の三次元計測は、1990年代より行われるようになった。

1.2 文化財分野への導入

表1は、1997年から2012年の間に日本文化財科学学会大会で発表された、三次元計測技術を用いた研究の発表件数と全発表件数である（日本文化財科学学会：1997-2012）。

1997年と98年、三次元計測を用いた研究の発表は、わずか1件ずつのみである。その後、多少の増減はありながらも発表件数を伸ばし、2010年以降は、全発表件数の5%以上の割合を占めるようになる。1997年から2012年の間、全体の発表件数も増加傾向にあり、技術の進歩と共に、多様な研究手法が開発されてきたことがうかがえる。その中で、三次元計測を用いた研究の発表が、一定以上の割合を保つようになったということは、この分野において、三次元計測が一つの手法として定着したことを示している。これは、日本文化財科学学会の中だけの話ではなく、文化財をテーマに扱う分野全体を見ても同様に、普及してきていると言える。例えば、京都国立博物館の文化財保存修復の現場を一般向けに紹介している『美を伝える』（京都国立博物館：2011）の中には、レーザーによる三次元計測を修復の現場で用いている記述がある。また、東京芸術大学大学院が発行している『年報』（東京芸術大学大学院年報制作スタッフ：2011）の中では、模刻のためや、学生の教育用資料作成のために、文化財の三次元計測の技術を有効に活用した事例が数多く報告されている。

日本文化財科学学会大会において、三次元計測を用いた研究の発表件数が一定以上の割合を占めるようになった2010年という年は、「3D元年」という言葉がメディアを賑わした年でもある。「3D元年」の名前のとおり、たしかに、各家電メーカーによる3D対応テレビの発表、ニンテンドー3DSの発表（任天堂株式会社：2010）、FinePix REAL 3D W3の発売（富士フイルム株式会社：

2010）、Kinectの発売（マイクロソフト株式会社：2010）と、専門家向けのものではなく、一般ユーザー向けの「3D」関連機器の発表・発売が続いた年であった。日本経済新聞によれば、現在、3D技術の活用が最も進んでいるのはゲーム業界とのことであり（株式会社日本経済新聞社：2013）、家庭で「3D」を楽しめるハードウェアが揃った上記の現状を見ると納得できる。また、ソフトウェア面においても、映画館では、2009年に「観るのではない。そこにいるのだ。」というキャッチフレーズで封切られた映画『アバター』（Cameron：2009）の大ヒットを皮切りに、絶えず3D映画の上映が続けられている。スポーツ番組の生中継が3D放送されるようになり、ニンテンドー3DSはルーブル美術館のオーディオガイドとしても採用され、来館者に作品の3Dモデルを提供している（任天堂株式会社：2012）。展覧会やその他施設でも3Dのコンテンツを目にする機会は増えた。

しかし、三次元計測技術は、まだ写真による記録技術ほど普及してはいない。即ち、個人で三次元情報の記録を行い、取得したデータを各々のソフトウェアで加工し、各種出力端末で楽しんでいる一般ユーザーは少ない。3Dデータの入力装置として、上にも挙げたFinePix REAL 3D W3やKinectなどのハードウェアの他、2012年になり、10万円台で買える機器も登場。かつては「ラピッドプロトタイプマシン」、最近では「3Dプリンタ」などと呼ばれる3Dデータの出力装置も、10万円程度で購入できる廉価なものが販売され始めた。ところが、3Dデータの入力装置・出力装置共に、一般ユーザーも手に取れるようになった今でもなお、「3D」による記録とそのデータの活用には、未だに多くの誤解や幻想が持たれているように感じる。

機器の低価格化が進む中、『文化財のための三次元計測』のように、文化財や考古学研究のために手頃な価格帯の3Dスキャナを活用するためのマニュアルも刊行された（金田ら：2010）。ではこれで、コストをかけず、誰もが手軽に研究用の3Dデータを取得できるようになったのか。残念ながらそうではない。万能に使用できる3Dスキャナは存在しない。一つの機器を用いてできることには限界があり、計測対象ごとに、機器には向き不向きがある。そのため、自分が望む品質の3Dデータを

一つの機器から全て賅える方が稀である。現在、低価格帯のものだけではなく、様々なタイプの3D スキャナが発売されている。しかし、その中で、文化財を計測するための専用の3D スキャナというのは見当たらない。ほとんどの3D スキャナは、工業製品の検品や試作を主な用途として販売されている。では、文化財の三次元計測においては、どのような機器が使われてきたのか。文化財の三次元計測に用いられてきた機器について概観する。

2. 3D スキャナ利用の現状

2.1 3D スキャナの種類

三次元計測と一口に言っても、多くの計測手法が存在する。前述したとおり、3D スキャナは「立体形状を把握するため」に用いる機器である。だが、立体形状を把握するために利用できる装置は、3D スキャナだけではない。図1は、Boehlerらが文化財の三次元計測の手法を分類したものである(Boehler and Heinz:1999)。本稿で対象としている文化財の大きさは、主に、数十cmから数m程度のものである。本稿では、この、外形が数十cmから数mくらいの文化財の詳細な形状データを取得する、すなわち、図1において左上部分に相当する三次元計測に主眼を置く。

図1のとおり、三次元計測の手法がいくつかある中で、3D スキャナによる計測は、この左上部分の範囲の三次元計測を行うために適した手法である。図2では、文化財の三次元計測に使われている主な3D スキャナの機種を分類した。分類は、図1に倣い、横軸は計測対象物の大きさとし、縦軸は計測される点の密度である。分類には、各メーカーが発行しているカタログ記載の「解像度」や「計測速度」、「計測可能範囲」といった項目を参考にした。これらの3D スキャナは、①に対応する機種がデジタル、②に対応する機種が中・長距離レンジのスキャナという名称で区別されることもある。機器によっては、機器が採用している計測方式により、レーザーレンジファインダと呼ばれるなど、機器の名称は各メーカーごとにばらばらである。光波測距離法を利用したレーザーレンジファインダの他、各3D スキャナに採用されている方式は様々だ。それらの三次元計測の方式について、分類を図3に示すが、それぞれの原理については、『最新 光三

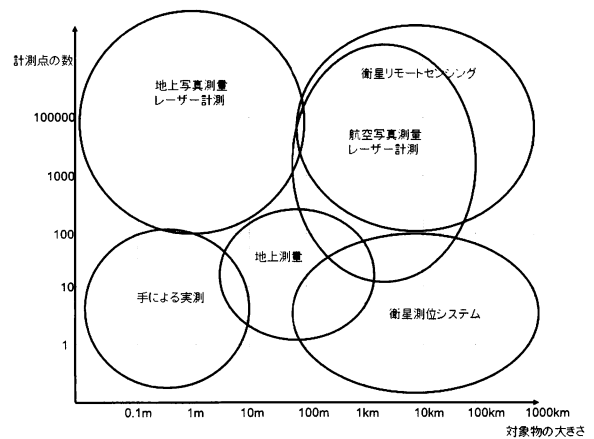


図1 文化財の三次元計測手法の、測定点の和と対象物の大きさによる分類
(原典:Boehler and Heinz (1999)の一部を改編)

Fig.1 Three-dimensional survey techniques applied to the cultural-property objects characterized by scale and object size (derived from Boehler and Heinz (1999))

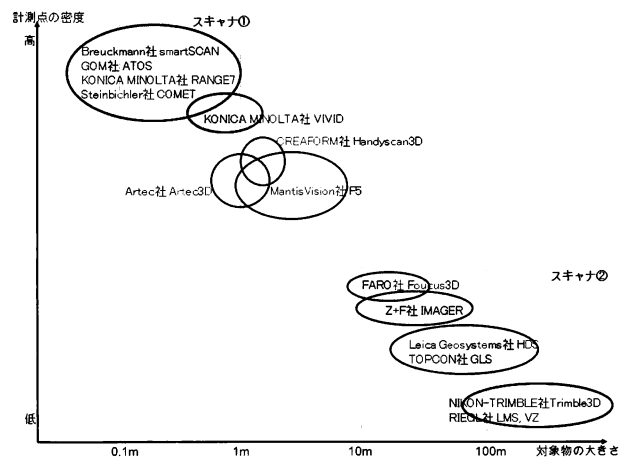


図2 文化財の三次元計測に利用されている3D スキャナの分類
Fig.2 Classification of 3D scanners

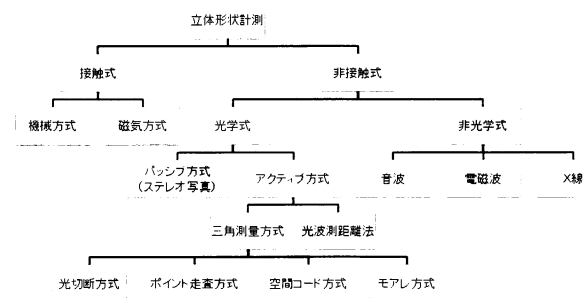


図3 三次元計測の方式
Fig.3 Classification of the 3D measurement principle

次元計測』(吉澤:2006)に詳しい。

図3のとおり、三次元計測の方式は、大きく、接触式か非接触式かの2つに分けられる。接触式の方が、非接触式よりも「精度」の高いデータを取得できる。しかし、

文化財の三次元計測においては多くの場合、計測対象の特性や、時間的な制約上、非接触式の機器が用いられる。ところが、非接触式の機器を用いる際、問題になるのが、機器の「精度」である。

2.2 3D スキャナの「精度」

2.2.1 非接触式 3D スキャナの規格

非接触式の 3D スキャナは「精度を保証する規格がない」「計測のベンチマークがない」「メーカーが独自に測定機の性能評価を行っている」などと言われることが多い。では、非接触式の 3D スキャナにおいては、規定するものが何もないのかというと、そうではない。2009 年 9 月に制定された「JIS B 7441 非接触座標測定機の受入検査及び定期検査」という非接触式の三次元測定機に関する工業規格が存在する（経済産業省産業技術環境局産業基盤標準化推進：2009）。ところが、この規格に従っているメーカーは少なく、大澤の報告によれば、2011 年 10 月の時点で、わずか 2 社にすぎない（大澤：2011）。メーカーごとにばらばらの方法で機器の評価を行っているとするれば、各メーカーが発表する数値をもとに 3D スキャナの性能を比較できないことになる。

また、3D スキャナは、経年変化によっても「精度」が低下してくる。各メーカーは、機器の校正を定期的に行い、証明書を発行するなどして、機器の「精度」を保証している。しかし、メーカーごとにその評価法が異なるとすれば、証明書が有効なものであるかどうかの判断は難しい。

こうした現状の中、非接触式の 3D スキャナの精度評価法の標準化を行うために活動している団体がある。非接触式の 3D スキャナの精度問題に関する動向や詳細については、そちらを参照されたい（光学式非接触三次元測定機精度評価法標準化コンソーシアム：2013）。

2.2.2 取得されるデータの品質

そもそも「精度」とは何か。3D スキャナの「精度」はよく問われる問題であるが、その中で、測定値がいかにかに真値に近いのかを表す指標が「精度」だと思われている場面にも度々遭遇する。また、「分解能」もしくは「解像度」、「確度」もしくは「正確度」、「精度」もしくは

「精密度」と、意味するものが違うこれらの指標が、時に、一つの単語「精度」とされていることもある。さらに、「解像度」に関して言えば、三次元計測の場合、平面方向（X, Y 方向）に対しての解像度の他に、奥行き方向（Z 方向）に対しての解像度の 2 種類が存在する。この 2 種類の解像度も混同されがちである。

様々な誤解があるとは言え、この非接触式の 3D スキャナの「精度」問題—ここでの「精度」とは解像度および正確度と精密度—は文化財の三次元計測における根本的な問題ではないと考える。なぜなら、第一に、文化財の表面の特性は、工業製品とは大きく異なるという特性が挙げられる。そして、第二に、必要とされるデータの品質は、用途に応じて変わってくるからである。

まず、第一の文化財の特性についてであるが、工業製品に比べ、文化財は形状が複雑な上、表面の材質も多種多様である。工業製品と異なり、文化財はそのほとんどが唯一無二のものであり、同じ材質であっても、制作された年代によって、表面の状態は異なる。その上、特に日本の文化財には、黒色のもの、漆が塗られたもの、螺鈿が施されたもの、金属物など、一般的に、非接触式の 3D スキャナで計測することが困難であると言われている材質・技法で作られたものが多い。

非接触式の 3D スキャナは、対象物の表面の状態によって、計測結果が大きく左右される。だからこそ、機器の評価法の標準化がなかなか進まず、規格が制定された今も、規格に従って評価を行うメーカーが少ない。よって、それぞれのメーカーが標準化された手法で 3D スキャナの評価を行うようになり、各メーカーの発表する「精度」が信頼できる数値になったとしても、文化財の三次元計測は多くの場合、メーカーの推奨する環境を整えて計測を実施することができない。そのため、計測の「精度」を保証することも難しい。上記の、黒色や螺鈿、金属物などの文化財に至っては、現在販売されている 3D スキャナで計測を行っても、データが取得できないか、取得できたとしても、メーカーの保証する「精度」からは外れたデータになる。しかし、測定誤差の大きいデータでも、データの利用の仕方によっては、「使える」データになるだろう。

さらに、測定誤差の他にも、「精度」を低下させる誤

差が存在する。文化財を対象に三次元計測を実施する場合、ある一つの面だけを計測するという事は少なく、何度か計測箇所を移動し、対象物の形状を360度計測する。したがって、別の角度から取得した幾つかの計測データを結合しなければ、一つの対象物のデータとはならない。複数のデータを結合することをアライメントと呼ぶが、このアライメント時に生じる計算誤差が、機器の持つ誤差よりも大きくなる場合がある。最初に計測した部分から、徐々に角度を変えながら立体物の周囲を計測していくが、この時、誤差伝搬が起こり、初めに計測した範囲と最後に計測した範囲が同じであるはずなのに、データ上では重ならないということもしばしば起こる。

そのような理由で、いくら機器の「精度」を論じていても、今の段階でそれを解決する手段はない。どの程度のデータが取得できるかを確認する方法は、実際に計測してみることだけなのである。だが、真値の分からない文化財を計測する以上、得られた計測結果を評価する術もない。とは言え、三次元計測技術は有効ではないと結論づけるのも早計だ。

第二の必要とされるデータの品質であるが、カメラを例に見てみると、カメラは情報の記録装置としてなくてはならない存在であるが、対象物を正確に写し取らないことは、誰もが知っている。しかし、カメラで撮影したデータの「精度」を問う人は少ないし、正確な情報を取得できないから使わないという人もいないだろう。さらに、用途に応じて、携帯電話付属のカメラでスナップ写真を撮れば、十分な情報となる場合もあるし、大掛かりな撮影機材を準備し、一枚の画像データを取得するために、膨大な時間を掛けなければならない場合もある。文化財の三次元計測も同様なのではないだろうか。非接触式の3Dスキャナの「精度」に捉われ過ぎて、三次元計測の実施を遠ざけてしまうのは勿体ない。カメラでの記録と同様に、「精度」は、情報を活用するための本質ではないはずだ。また、カメラも用途に応じて機種を選ぶように、三次元計測も、用途に応じて、求められるデータの品質が異なり、そのために必要な機器も違ってくる。

2.3 文化財の三次元計測に求められる3Dスキャナ

機器を選択するためには、まず、何のために計測を行うのか、目的を明確にしなければならない。目的が明確になれば、目的を達成するために要求される解像度が決まる。English Heritageによれば、例えば、1mm程度の特徴が95%の確率で表現できるために必要な計測点間の距離は0.05mmとのことで、特徴が10mmであれば、必要な計測点間の距離は0.5mmとなる(English Heritage:2011)。土器の計測を例にとれば、数mmほどの土器表面の文様を観察したいのか、数十cmほどの外形を観察したいのかでは、必要とされる解像度が異なってくる。そのため、まずは、何のためにデータを取得し、どのような形でデータを利用したいのか、目的を定めなければならないのである。とりあえず計測しておけば、いつかはデータが利用される日が来るだろうという動機で三次元計測を実施することだけは避けるべきだ。いつか使われるだろうという「いつか」はこの先ずっと現れないばかりか、「いつか」の時には、より品質の高いデータが今よりもっと手軽に取れるようになっているかもしれない。三次元計測の装置は、まだ過渡期にあり、次々と新しい機器が誕生している最中である。

本来、元の形状を正しく復元できるデータを取得することが一番望ましい。しかし、尖った彫刻や直角に曲がっている縁など、エッジの立った部分を正しく復元できるデータを取得することは、現在の機器では、不可能に近い。また、「品質の高い」データ—ここでの高品質なデータとは、解像度が高いだけでなく、高精密度・高正確度でもあるデータを指す—を取得することと、計測に必要な時間・費用とはトレードオフの関係にある。さらに、データ量が増えれば増えるほど、データの処理には時間がかかり、データの扱いやすさは、データ量と反比例する。だからこそ、どこまでのデータを必要とするのか、目的を明瞭にしなければ、結局、扱いにくいデータとして陽の目を見ない運命になりかねない。

通常は、図2のように、計測対象が大きくなればなるほど、粗い密度で計測が行われる。そのため、文化財の三次元計測が実施される時、より大規模な調査であるGPSによるデータ取得などの手法と、3Dスキャナによるデータ取得が併用されることもある。限られた時間と

費用の中で目的を達成するためには、例えば、遺構全体を測量、その中で特に詳細な記録を残したい箇所を中・長距離レンジのスカナで計測、出土された遺物はデジタルタイザで計測、というように数種類の機器を併用するなど工夫が必要である。

では、要求される解像度が分かれば、利用すべきスカナを決めることができるのか。実は、目的が明瞭になっても、利用すべきスカナは決まらない。上記のとおり、非接触式のスカナは、対象物の表面の状態によって計測結果が大きく変わる。そのため、対象物表面の状態も考慮し、スカナを選ぶ必要がある。例えば、表面が黒色の場合、望む品質のデータは取れなくとも、黒色のものの計測を行えるスカナを選ばなければならない。光沢物の場合、計測対象にマーカを貼ったり、パウダーを塗布したりすれば、望む品質のデータを得られるが、マーカを貼ることもパウダーを塗布することもかなわないときには、別のスカナを選択しなければならない。

また、対象物の置かれた環境や条件により、必ずしも望み通りのスカナで計測を行えるとは限らない。据え置き型の三次元測定機が設置されている安定した屋内の環境ばかりではなく、対象物周囲の状況も、まちまちである。例えば、屋外での計測の場合、強い外光の下で利用できるスカナを選択しなければならないこともあるだろうし、外部電源が確保できない環境の下では、内部電源を備えたスカナを選択しなければならない。限られた時間の中での計測の場合には、いかに高速に計測できるかが、スカナ選択の最優先項目になることもあるだろう。

文化財の三次元計測では、求められているデータの品質を確保することも重要ではあるが、対象物の形状や表面の状態、計測対象物の置かれた環境や計測条件も考慮した上で、優先事項を決め、最も適切と思われるスカナを都度選ぶべきだ。また、他手法との併用を考えた方が良い場合もある。

3. 計測事例

では、どのような3Dスカナを用いれば、有用なデータを取得できるのか。次に、弊社で手掛けた計測事例を

挙げながら、具体的な機器選択や結果について紹介する。

3.1 データの品質が優先される場合

一計測事例① 国宝 鑑真和上坐像

この事例の目的は、オリジナルの像の代わりに観察できるデータを取得することである。オリジナルの像は、制作から1250年が経過しており、経年劣化が激しいため、安置し保存することが望まれていた。そこで、現時点での像の実態を克明に記録し、恒久的に伝えるためにデジタルデータを取得した。デジタルデータ上で、1mm単位の寸法を測れるデータを目指し、三次元計測を行った。三次元計測の他に、色彩計測と高精細画像撮影によるデータ取得も併せて行った。

計測には、Breuckmann社のsmartSCAN (Breuckmann GmbH:2013)を用いた。このスカナを選択した理由は、

- 非接触式であり、文化財に触れることなく計測を行える。また、スカナから対象物までの距離は約70cm固定であり、70cm離れた場所から安全に計測が行える
- 美術品など文化財の計測用途も考慮されたスカナであり、マーカやパウダーがなくとも、ノイズが少ないデータを取得できる。特に、表面に黒い漆が施された文化財の計測も可能である
- 計測機本体が3.8kgと軽量である
- 1mm単位で寸法を確認できるデータを取得できる
- 形状データの取得と同時に、色情報の取得も可能である

という特長を持つためである。

結果、三次元計測データは、お身代わり像の制作現場で活用された。また、三次元計測データから制作過程のシミュレーション、例えば、漆を塗る前後のサイズ比較などを行うことも可能で、今後も保存・修復の現場でのデータ活用が望まれている。

【三次元計測詳細】

- 名称 国宝 鑑真和上坐像
- サイズ 高さ 79.5 cm
- 製法・材質 脱活乾漆

- ・時代 奈良時代（8世紀）
- ・所蔵 唐招提寺
- ・機材 smartSCAN（Breuckmann GmbH：2013）
- ・計測日時 2009年7月
- ・所要日数 3日
- ・平均点間距離 0.66mm
- ・データサイズ 約700万ポリゴン
- ・ショット数 94
- ・計測場所 唐招提寺御影堂内

計測データを詳細に観察するという目的のために三次元計測が用いられた事例としては、他に、2012年の日

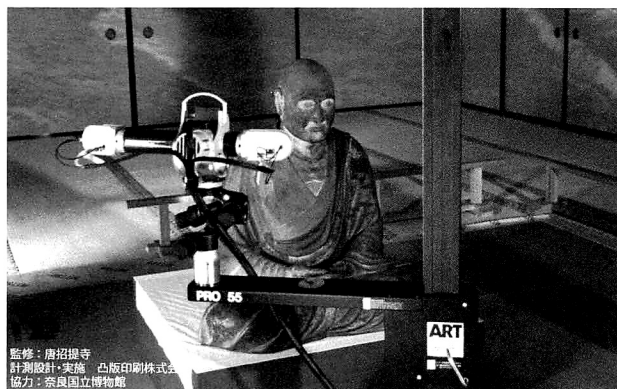


図4 鑑真和上坐像の三次元計測風景
Fig.4 Making a 3D measurement of Ganjin-wajo seated statue (national treasure) belonging to Toshodaiji Temple

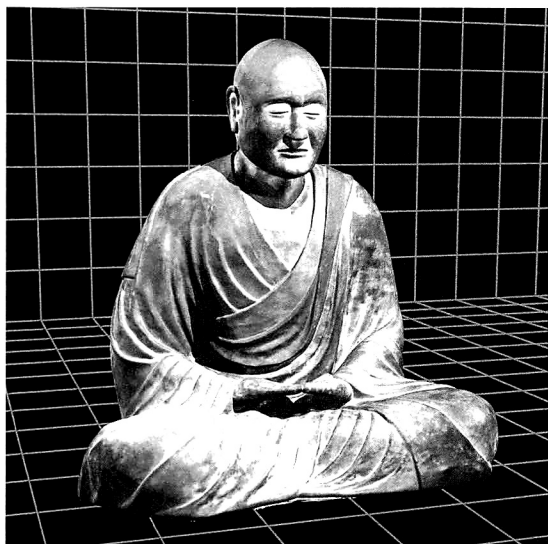


図5 鑑真和上坐像の三次元計測データを可視化したデジタルモデル
Fig.5 A digital model of Ganjin-wajo seated statue based on the data acquired by a 3D measurement

本文化財科学会第29回大会で発表された、徳田らによる「三次元計測データを用いた斜縁神獣鏡「同型鏡」の検討」が挙げられるだろう（徳田ら：2012）。これは、これまでの写真などといった二次元での情報では不可能であった観察を、3Dデータにより行うことを目的とし、点間距離80 μ mという解像度のデータを取得したものである。計測には、GOM社のATOS II（GOM mbH：2013）が使われている。

3.2 計測対象の保全が優先される場合

一計測事例② 国宝 阿修羅像

この計画の目的は、学術的にも信頼性の高いデジタルアーカイブを構築することであった。しかし、周囲の機器が倒れても像にぶつからないように、また、万一像が倒れても周囲にぶつからずに済むよう、像から1.5m以内の範囲には、機器及び人の立ち入りは禁止されていた。そのため、安全に計測することが、高品質のデータを取得することよりも優先された。三次元計測の他に、色彩計測と高精細画像撮影も実施した。

計測には、Konica Minolta社のVIVID 910（コニカミノルタオプティクス株式会社：2013）を用いた。このスキャナを選定した理由は

- ・対象物から2m離れた位置から安全に計測が行える非接触式のスキャナである
 - ・明るい室内で計測が行える
- という特長を持つためである。

結果、VR（Virtual Reality）作品の制作において、形状を正確に再現するために利用できるデータを取得することができた。通常、計測機と対象物が近付けば近づくほど、高解像度のデータを取得することができる。そのため、この計測では、計測事例①ほどの高い解像度のデータを取得することは出来なかった。また、取得されたデータは、ノイズの影響が多かったものの、上記のとおり、VR作品の制作で活用するためには、有効なデータとなった。

【計測詳細】

- ・名称 国宝 阿修羅像
- ・サイズ 高さ153.4cm

- ・製法・材質 乾漆造
- ・時代 奈良時代
- ・所蔵 興福寺
- ・機材 VIVID910 (コニカミノルタ社)
- ・計測日時 2008年5月
- ・所要日数 2日
- ・平均点間距離 1.97 mm
- ・データサイズ 全身約130万ポリゴン、頭部約300万ポリゴン
- ・ショット数 127
- ・計測場所 興福寺国宝館内



図6 阿修羅像の三次元計測風景
Fig. 6 Making a 3D measurement of Asura statue (national treasure) belonging to Kofukuji Temple

データの品質よりも安全面を優先する場合には、例えば、フォトグラメトリなどの手法で計測を行うことが考えられる。フォトグラメトリは、コンパクト・デジタルカメラのような小型軽量の機器を用いて、対象物から離れた場所からでも三次元計測を行える手法だ。ただし、フォトグラメトリなどのパッシブ方式の計測手法は、必要な装置がコンパクトに済む反面、データの品質は、レーザースキャナなどのアクティブ方式に劣る。文化財計測の現場においては、計測対象の周囲にも貴重な文化財が設置してある場合も多い。そのような環境では、対象物に近付かなければならないアクティブ方式の3Dスキャナでは、周囲に影響を与えずに計測することは難しい。また、対象物を他の場所へ移動させることが不可能であ

る場合も多い。2012年の日本文化財科学会第29回大会で発表された、森井らによる「彫刻作品の地震転倒確率の簡易予測に関する研究」は、そうした通常の機器が設置できないような場所において、安全に計測が行えるシステムを利用した事例である(森井ら：2012)。この研究では、開発中のシステムを用いて、仏像群が不安定な場所に密集して安置されているため、従来の手法では計測不可能であった、東大寺法華堂の国宝および重要文化財の仏像7体を計測対象とした実証実験を行っている。

3.3 操作性が優先される場合

一計測事例③ 世界遺産 日光東照宮社殿群のうち国宝 陽明門

世界遺産である日光東照宮社殿群のうち、国宝陽明門の三次元計測を行った。高精細画像撮影も併せて行った。

目的は、CG制作の際、基礎となるデジタルモデルを作成するためである。陽明門に施されている彫刻の形状データを、平均点間距離2~3mm程度の解像度で計測することが望まれた。しかし、計測対象が建造物であり、移動させることが不可能であるため、計測に際しては、下記のような厳しい制約があった。

- ・三次元計測は、開門前と閉門後のみ実施可能
- ・高さ最大8mの部分に施された彫刻の計測も行う
- ・高所に施された彫刻の計測にあたっては、足場を組むことは可能だが、開門前には取り壊さなければならない
- ・陽明門2階部分に上がっての計測も可能だが、上がる手段は立てかけ式のハシゴのみである。また、陽明門2階部分の通路は幅約1m程度と非常に狭い
- 計測には、MantisVision社のMVC-F5(Mantis Vision Ltd.:2013)を用いた。このスキャナを選定した理由は、
 - ・ハンディタイプのスキャナであり、携帯性に優れ、持ち運びが容易
 - ・外部電源やPCなどとの接続が不要であり、高所や狭い場所に持ち込んでの計測が可能。また2.7kgと軽量であり、リュックなどに入れて足場やハシゴを上がることが可能
 - ・足場を組んで高所の彫刻を計測する場合、彫刻から

足場までの距離が2~3 m以上になるため、2~3 m以上離れた位置から計測を行える

- 解像度が最高0.5 mm
- 開門前・閉門後の暗闇の中でも計測可能
- 機器の起動から計測終了まで短時間

という特長を持つためである。

結果、CG制作に役立つデータを取得できた。今後は、平成の大修理前のデータとして保存・修復の現場でのデータ活用が望まれる。

【計測詳細】

- 名称 国宝 陽明門
- サイズ 高さ11.1 m 幅7 m
- 製法・材質 入母屋造
- 時代 江戸時代初期
- 所蔵 日光東照宮

- 機材 MVC-F5 (MantisVision 社)
- 計測日時 2012年9月
- 所要日数 3日
- 平均点間距離 1.99 mm
- データサイズ 約189 GB (容量)
- ショット数 -
- 計測場所 日光東照宮



図7 日光東照宮陽明門の三次元計測風景

Fig. 7 Making a 3D measurement of Yomeimon (national treasure) belonging to Nikko Toshogu-ji (UNESCO world heritage site)

このように、計測環境による制約が多い三次元計測の事例としては、2010年の日本文化財科学会第27回大会で発表された、鳥越らによる「ハンディ3Dデジタイザによる現場での活用」が挙げられるだろう(鳥越ら:2010)。これは、今回の日光東照宮による計測事例のように、移動が困難な文化財や発掘現場といった、三次元計測を行うにあたっては制約の多い現場において、可搬性が高く、容易に計測のできるハンディタイプの3Dスキャナの利用を検証した研究である。鳥越らの発表は、そういった現場においてCreaform社のVIUScan (Creaform Inc.:2013)の導入を目指し、検証を行っている。

3.4 計測速度が優先される場合

一計測事例④ 世界遺産 マチュ・ピチュ遺跡

世界遺産であるマチュ・ピチュ遺跡全域の三次元計測を、大手前大学史学研究所の協力で行った。写真撮影による記録も併せて行った。

目的は、VR制作のために、面積13 km²のマチュ・ピチュ遺跡全域の形状データを取得することである。限られた時間の中で、広大な遺跡全体の形状を把握できるデータの取得を目指し、計測速度が優先された。

計測にはリーグル社のLMS-Z420i (リーグルジャパン株式会社:2005)を用いた。このスキャナを選択した理由は

- 高速である
- 遺跡や観光客にダメージを与えずに計測可能
- 計測データをポリゴン化できる

という特長をもつためである。

結果、形状のデータをVR作品の制作に活用することができた。しかし、データの活用の際には、問題点もあった。計測データは、ポリゴンによる表示が望まれた。データをポリゴン化するには、計測された点間を補間しなければならないが、LMS-Z420iは長距離レンジのスキャナであり、図2のとおり、長距離レンジのスキャナのデータは、デジタイザと呼ばれるようなスキャナのデータに比べ、計測される点の密度が粗いため、データの補間が困難であった。データの可視化には、ポリゴンではなく、点群表示などの方法もあるが、点群表示の場合、点と点の間は透けてしまうため、奥にある点群も手

前に見えてしまい、奥行きや正確な形状の視認性が悪いという問題がある。

そのため、データの活用には、約 20,000 枚の写真データを参照する必要があった。

【計測詳細】

- ・名称 マチュ・ピチュ遺跡
- ・サイズ 面積 13 km²
- ・製法・材質 石の建造物など
- ・時代 15 世紀（インカ帝国）
- ・所在地 ペルー

- ・機材 LMS-Z420i（リーグル社）
- ・計測日時 2011 年 10 月
- ・所要日数 5 日
- ・平均点間距離 —
- ・データサイズ 約 20 GB（容量）
- ・ショット数 約 90 地点から計測
- ・計測場所 マチュ・ピチュ遺跡



図8 マチュ・ピチュ遺跡の三次元計測風景
Fig. 8 Making a 3D measurement of the historic sanctuary of Machu Picchu (UNESCO world heritage site)

比較的広い範囲に及ぶも遺跡・遺構を計測した事例に、2009年の日本文化財科学会第26回大会で発表された、西藤らによる「シリア・パルミラ遺跡の墓から見た3次元画像の活用と展望」が挙げられる（西藤ら：2009）。これは、遺構全体の状況を把握し、コンピュータ上で、倒壊した箇所修復と復元を行うことを目的に、ライカジオシステム社のHDS3000（ライカジオシステム株式会社：2013）にて、三次元計測を行った研究である。

3.5 三次元計測に不向きな文化財

3D スキャナでは三次元計測できないものとして、やわらかいものや揺れるもの、細いものなどが挙げられる。これらは、僅かな振動も拾って形状を変えてしまうために、計測できない。

複雑に入り組んでいるような形状のものも計測できない。外形のみを捉えることはできるが、入り組んだ部分が死角となり、複雑な構造を把握するためのデータを取得することは不可能だ。

また、既に述べてきたように、黒色の漆、螺鈿や金属物などの光沢のある対象は、非接触の3D スキャナでは計測が困難とされてきた。しかし、メーカーの努力や、計測時の工夫次第で、データの取得が行えるようになってきた。機器の面から言えば、例えば、Breuckmann社のsmartSCANは、他の非接触式スキャナに比べ、黒い漆表面の文化財でも、データが取れる機種であるし、FARO社のLaser ScanArm（ファロージャパン株式会社：2013b）は、金属表面のものでも計測が可能である。ゲインやレーザーの強度を調整することにより、これまで計測できなかった対象物でもデータの取得が可能となる場合もある。しかし、ゲインを上げ過ぎたり、レーザーの強度を上げ過ぎたりすれば、ノイズも増幅されるため、つるりとした平滑な表面であっても、ざらざらなものになるなど、データの品質にも影響が出てしまう。こうしたノイズの影響で、金属表面の計測の場合、品質の悪いデータ、つまり、誤差の多いデータであるのか、実際に対象物が持つ錆などの情報であり、正確にデータが取得できているのか、区別できない場合もある。

光沢物として、刀の三次元計測を行った例を図9に載せる。これは、公益財団法人佐野美術館の協力で、重要文化財である「短刀 銘国光」の三次元計測にトライアルしたものである。図9を見ると、計測対象の外形を捉えているようにも見えるが、研究用途としてデータを活用するほどには、データの品質が到達していない。そのため、計測手法に加え、データの活用方法についても、引き続き検討中である。

金属物の計測は、3D スキャナによる計測が困難であったとしても、例えば、X線CTなどの利用により、計測が可能になる場合もある。2010年の日本文化財科学会

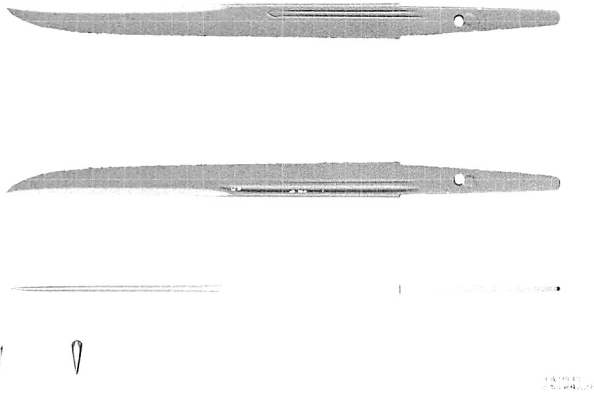


図9 短刀 銘 国光（重要文化財）の三次元計測データに基づいたコンピュータによる実測図の原図

Fig.9 A drawing based on the data of a knife signed Kunimitsu (important cultural property) acquired by a 3D measurement

第27回大会において、渡辺らが、従来の三次元計測技術は不向きな資料である金属製の耳環の形状を比較するため、X線CT画像を利用した例を発表している（渡辺ら：2010）。

4. 計測データの活用

4.1 デジタルデータの利点

3章では、三次元計測データの用途や優先事項に合わせてスキャナを選択し、計測を行った事例を紹介してきた。ところが、デジタルデータの最大の利点は、データを再利用できる点にある。三次元計測データも、他のデジタルデータと同じように、一度取得したデータを多目的に展開することができる。このデジタルデータの利点を活かし、三次元計測データを、一つの目的だけでなく、多用途に活用した例について、事例を紹介する。

以下は、東京国立博物館所蔵の重要文化財である土偶のうち、みみずく土偶と呼ばれる文化財を三次元計測し、その三次元計測データを多用途に展開した例である（Miyamae：2011）。計測の詳細は以下のとおりである。

【計測詳細】

- ・名称 重要文化財 みみずく土偶
- ・サイズ 高さ 20.5 cm
- ・製法・材質 土製
- ・時代 縄文時代後期（前2000年～前1000年）

- ・所蔵 東京国立博物館
- ・機材 smartSCAN (Breuckmann GmbH)
- ・計測日時 2010年3月
- ・所要日数 1日
- ・平均点間距離 0.25mm
- ・データサイズ 234万ポリゴン
- ・ショット数 143
- ・計測場所 東京国立博物館写場

三次元計測データの活用として、

- ・考古学研究への活用（実測図の原図作成など）
- ・VR作品
- ・複製
- ・YouTubeでの配信用映像、館内モニター用の配信映像などの形態で出力物を制作した。

計測したデータを、なるべく生データに近い状態、つまり人手による主観を排除し、メッシュ化したデジタルモデルは、考古学研究用のデータとして、専用のブラウザにて観察が可能である。その他、メッシュ化したデジタルモデルを基に、コンピュータにより二次元の実測図の原図を描くことも可能である。特別なスキルがなくても、任意の角度に正面を設定した実測図の原図を出力することができる。

穴埋めやノイズ除去、データ間引きなどの処理により、メッシュの再構築を行ったデジタルモデルは、CG制作の際に、基礎データとして活用することが可能である。本例は、計測データから作成したデジタルモデルをも基に、『DOGU 縄文人が込めたメッセージ』というタイトルのVR作品を制作した（東京国立博物館：2012）。計測データから作成したデジタルモデルを、3Dプリンタでの出力用に加工することで、オリジナルの外形に忠実な複製を作ることも可能である。本例は、来館者が実際に手に取って触ることのできるハンズオン展示用の複製を、このデジタルデータと3Dプリンタを用いて制作した。制作した複製は、形状だけでなく、重量もオリジナルの重量に揃えている。VRなどのCG作品は、解説を加えることや、デジタルでしか見せることのできない手法により、オリジナルの魅力を伝えることのできる有



図 10 三次元計測データ活用事例

(左から右) みみずく土偶の写真データ、計測データを基に作成したデジタルモデル、計測データを基に制作した複製、計測データを基に制作した YouTube 用配信映像

Fig. 10 Examples of utilizing the acquired 3D data

(Left to Right) The photograph of Mimizuku (horned owl) Dogu; the digital model based on the acquired data; the replica based on the acquired data; the movie based on the acquired data for release in YouTube

効なツールであるが、触感までを伝えることはできない。そこで、オリジナルの文化財を忠実に再現した複製を手取ることで、文化財への理解を促進し、人と文化財の新たなコミュニケーションの形を作り出した。

さらに、デジタルモデルを回転させるなどした様子を、汎用的なビデオフォーマットに変換することで、YouTube (e 国宝：2011) や館内モニターで配信するための映像も制作することができる。こうした手法により、来館者や、実際に来館できない人でも、展示室では見ることのできない角度から、文化財を観察することが可能となる。

4.2 デジタルデータの多目的利用を阻む要因

何故、三次元計測のデジタルデータは活用されにくいのか。現在、3D データを表示するための汎用的なブラウザや、汎用的なフォーマットが存在しないことが問題である。例えば、3D スキャナから得られた生のデータは、計測機器依存のフォーマットで記録され、処理を行った後に生成されるデータは、計測機器付属のソフトウェア独自のフォーマットで出力されることもある。その他、三次元計測で得られたデータを扱う手段として、生データをポリゴン化することが挙げられるが、ポリゴンのフォーマットだけでも、Wavefront 社の OBJ, Autodesk 社の 3DS, web 上で使用するために設計された X3D, 3D

System 社の STL, スタンフォード大学の提唱する PLY など、その数は多い。さらに、NURBSなどで表現された CAD データ用のフォーマットや、体積を持つソリッドモデル用のフォーマットなど、三次元データを可視化する方法もまた様々であり、それらは互換性を持たないこともある。

汎用的なブラウザやフォーマットがないことは、データの公開も制限してしまっている。Adobe reader においては、PDF に埋め込まれた 3D コンテンツを閲覧することも可能になっている (アドビシステムズ株式会社：2013)。しかし、現状では、本稿 4.1 のデータ活用事例のように、三次元計測データを基にムービーファイル形式の映像コンテンツを作り、配信することが、多くの利用者にとって特別な準備なしにデータを閲覧できる最適な手段である。映像ではなく、デジタルモデルなどを個々の所有する端末から自由に動かして観察できることが理想ではある。

このように、汎用的なブラウザやフォーマットがないことは、また、長期的にデータを保存・活用することも難しいことを意味する。こうしたデータ保存などの問題に関しては、より信用度の高いデータの生成と蓄積のために編集された「文化資源のデジタル化に関するハンドブック」などに詳しい (研谷ら：2011)。

5. おわりに

1960年代、NC工作機械の普及に合わせて登場した三次元測定機。文化財分野でも、当初は、塚本らの発表（塚本ら：1997）のように、造形機を用いてレプリカをつくるためなど、何のためにデータを取得するのか、その目的が明確であった。また、同研究のように、一つのデジタルデータを多目的に応用していくための検証がなされていた。

ところが、この10年の間に、「デジタルアーカイブ」という言葉が流行り、それが先行してしまった。オリジナルと同等のデータをデジタル技術で取得できる、そしてデジタルデータはアナログデータに比べ、長期に保管できる。いつかオリジナルの形状がなくなってしまうも、それを復元することができる。そのような幻想を「デジタルアーカイブ」という言葉は世間に抱かせた。その結果、一つのツールに過ぎない三次元計測という技術に関して、「デジタルアーカイブ」データを取得できる技術、即ち、オリジナルと同等のデータを取得できる魔法のツールであるかのような誤解を招いた。

では、どのようなデータが「デジタルアーカイブ」データとなり得るのか。その「精度」に関しては、議論されてこなかった。「三次元計測またはその他の手法によりデジタルアーカイブを行った」という事例は多くても、「デジタルアーカイブ」に必要な「精度」の定義はない。

しかし、デジタルアーカイブデータがオリジナルに取って代わることは決してない。ヴァーチャルリアリティの世界では、その認識が明確になってきている。日本ヴァーチャルリアリティ学会誌上において、「原品に近い精度で表示することが、実物の代替品となり、実物と同じように作品に対する感動を与えるのではないかと、博物館・美術館の当事者が思っていたことの一つの証左でもあるが、実は間違っていた」と田良島も論じている（田良島：2012）。また、田良島は、「逆に、古い美術書に掲載されたモノクローム写真でも、それを見た者に感動をもたらすことは十分にあり得る」とも言っている。三次元計測データでも、同じことが言えるだろう。どれほど高い品質のデジタルデータを取得したとしても、その文化財すべてを物語ることは決してできない。逆に、低い解像度、

低い精度・正確度のデータであっても、用途によっては、多いに役立つデータになり得る。前に述べたとおり、「目的」によって必要とされるデータの質は異なるのである。

この10年で、文化財の情報の記録手段として、これまでの二次元による記録手法から、三次元の記録手法への可能性が拓けてきたことは確かである。しかし、「デジタルアーカイブ」という言葉により、三次元計測技術の活用範囲が狭められてしまったようにも感じる。時間と手間を惜しみなくかけても達成されない「デジタルアーカイブ」は、恐竜のように、巨大化し自滅してしまうかもしれない。もちろん、巨大なデータが必要とされる場合もあるにせよ、その巨大なデータをただ残すのではなく、活かすためにも、「デジタルアーカイブ」という言葉によって、狭められてしまった三次元計測技術の利用範囲を、もう一度広げて行くべきではないだろうか。利用範囲を広げることが、一度取得したデジタルデータを多目的に再利用していくことにもつながる。恐竜のように全体像が曖昧で漠然としたデータではなく、定義さえきちんとされていれば、緻密で品質の高い「デジタルアーカイブデータ」は利用価値が高いものなのである。

X線CTのように内部構造と外形のデータを一度に取得できるような手法もポピュラーになってきた。次の10年、三次元の情報を記憶する手段は、今の3Dスキャナではないかもしれない。しかし、「デジタルアーカイブ」は、また、三次元計測だけでは成り立たないものだ。三次元計測は文化財の外形だけを切り取る手法に他ならず、そのものが辿ってきた歴史や背景までは記録できない。しかし、デジタルデータとしての利点を活かせば、外形は、多くの人の目に触れられるきっかけになるかもしれないし、研究者にとっては、ものの持つコンテキストをもう一度纏わせるきっかけになるかもしれない。三次元計測技術は、そうした可能性も秘めている。

データの記録手法として、二次元、三次元どちらが優れているのかではなく、どちらにも特長がある。どの手法が勝っているかと論じるのではなく、時代によって、新しい記録手法に対応することで、「デジタルアーカイブ」それ自体も発展していくことを望んでいる。

引用文献

- アドビシステムズ株式会社 2013 「Adobe Reader XI」 製品概要ページ
<http://www.adobe.com/jp/products/reader.html> (参照 2013-02-28)
- e 国宝 2011 「みみずく土偶」 YouTube 内配信ページ
<http://www.youtube.com/watch?v=E6YtuE4KVS0> (参照 2013-02-28)
- 大澤尊光・佐藤理・高辻利之 2011 「非接触座標測定機の性能評価に関する規格動向」 3D データ活用 Solution Fair
- 金田明大・大本拳周・川口武彦・佐々木淑美・三井猛 2010 「文化財のための三次元計測」 岩田書院 159p
- 株式会社日本経済新聞社 2013 「IT が導く「超現実」～仮想・3D 新世界の扉開く～」 日本経済新聞 二部 2013-01-01
- 株式会社ミットヨ 「三次元座標測定器に関する新 JIS について」 Mitutoyo Japan.
http://www.mitutoyo.co.jp/technology/standard/introduction_04/index.html (参照 2013-02-28)
- 京都国立博物館 2011 「美を伝える」 京都新聞出版センター 127p
- 経済産業省産業技術環境局産業基盤標準化推進室 2009 「非接触座標測定器の受入検査及び定期検査の JIS を制定」 JISC
<http://www.jisc.go.jp/newsttopics/2009/cmm1.pdf> (参照 2013-02-28)
- 光学式非接触三次元測定機精度評価法標準化コンソーシアム
<http://optcmm-cons.metrology.jp/info.html> (参照 2013-02-28)
- コニカミノルタオプティクス社 2013 「非接触 3 次元デジタイザ VIVID910」 KONICA MINOLTA
<http://www.konicaminolta.jp/instruments/products/3d/vivid910/index.html> (参照 2013-02-28)
- 西藤清秀・濱崎一志・石川慎治・星英司・吉村和昭 2009 「シリア・パルミラ遺跡の墓から見た 3 次元画像の活用と展望」 日本文化財科学会第 26 回大会研究発表要旨集 pp.106-107
- 田良島哲 2012 「博物館・美術館から見たデジタルミュージアム」 日本ヴァーチャルリアリティ学会誌 Vol.17, No.3, pp.12-14
- 塚本敏夫・増澤文武・佐藤宏介・松本岩雄・吾郷和宏 1997 「三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用(3)」 日本文化財科学会第 14 回大会研究発表要旨集 pp.188-189
- 東京芸術大学大学院年報制作スタッフ 2011 「年報 2010」 東京芸術大学大学院 美術研究科 文化財保存学専攻 保存修復彫刻研究室 242p
- 東京国立博物館 2012 「VR 作品『DOGU 縄文人が込めたメッセージ』」 東京国立博物館
http://www.tnm.jp/modules/r_event/index.php?controller=past_dtl&cid=12&id=5826 (参照 2013-02-28)
- 徳田誠志・奥山誠義・山本一伸・松田朝由 2012 「三次元計測データを用いた斜縁神獣鏡「同型鏡」の検討」 日本文化財科学会第 29 回大会研究発表要旨集 pp.28-29.
- 鳥越俊行・今津節生・輪田慧 2010 「ハンディ 3D デジタイザによる現場での活用」 日本文化財科学会第 27 回大会研究発表要旨集 pp.212-213
- 研谷紀夫・北岡タマ子・高橋英一・三橋徹 2011 「文化資源のデジタル化に関するハンドブック」 東京

- 大学大学院情報学環・凸版印刷株式会社共同研究プロジェクト発行 102p
- 日本工業標準調査会 2013 「JISC 日本工業標準調査会」 JISC
<http://www.jisc.go.jp/index.html> (参照 2013-02-28)
- 日本文化財科学会 1997-2012 「日本文化財科学会第14回～第29回大会研究発表要旨集」
- 任天堂株式会社 2010 「新携帯ゲーム機の販売に関して」 ニュースリリース
<http://www.nintendo.co.jp/ir/pdf/2010/100323.pdf> (参照 2013-02-28)
- 任天堂株式会社 2012 「ルーブル美術館と任天堂が提携 AUDIOGUIDE LOUVRE-NINTENDO 3DS を発表」 ニュースリリース
<http://www.nintendo.co.jp/corporate/release/2012/120411.html> (参照 2013-02-28)
- ファロージャパン株式会社 2013a 「3次元測定器とは」 3次元測定徹底ガイド
<http://3dsokutei.jp/howto/> (参照 2013-02-28)
- ファロージャパン株式会社 2013b 「FaroArm」 FARO
<http://www.faroasia.com/products/faroarm/jp/#> (参照 2013-02-28)
- 富士フイルム株式会社 2010 「3D デジタルカメラ FinePixREAL 3D W3」 ニュースリリース
http://www.fujifilm.co.jp/corporate/news/articleffnr_0419.html (参照 2013-02-28)
- マイクロソフト株式会社 2010 「マイクロソフト、年末商戦に向け Kinect™ の国内展開および Xbox 360® の強力なタイトル ラインアップを発表」 ニュースリリース
http://www.xbox.com/ja-JP/press/release/20100908_1 (参照 2013-02-28)
- 森井順之・運天弘樹・藤田悠貴・久世めぐみ・花里利一 2012 「彫刻作品の地震時転倒確率の簡易予測に関する研究」 日本文化財科学会第29回大会研究発表要旨集 pp.288-289
- 吉澤 徹 2006 「最新光三次元計測」 朝倉書店 140p
- ライカジオシステムズ株式会社 2013 「HDS レーザースキャナー」 Leica Geosystems
http://www.leica-geosystems.co.jp/jp/HDS_5570.htm (参照 2013-02-28)
- リーグルジャパン株式会社 2005 「高精度・長距離 3D スキャナー LMS-Z420i」 RIEGL Laser Measurement System
http://www.riegl-japan.co.jp/all_products/terrestrial/lms-z420i/z420.html (参照 2013-02-28)
- 渡辺智恵美・鳥越俊行・輪田慧・塩浜浩之 2010 「X線CTスキャン法を利用した耳環の調査(2)」 日本文化財科学会第27回大会研究発表要旨集 pp.394-395
- Boehler, W. and Heinz, G. 1999 "Documentation, surveying, photogrammetry" Proceedings of the XVII International CIPA Symposium
- Boehler, W. and Marbs, A. 2002 "3D Scanning Instruments" Proceedings of CIPA WG6 Scanning for Cultural Heritage Recording
- Breuckmann GmbH. 2013 "smartSCAN 3D series" Breuckmann precision in 3D
<http://www.breuckmann.com/en/industry-technology/products/smartsan.html> (参照 2013-02-28)
- Cameron, J. 2009 "Avatar" AVTR <http://www.avtr.com/> (参照 2013-02-28)
- Creaform Inc. 2013 "Portable 3D scanner" CREAFORM Portable 3D measurement solutions
<http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/products/portable-3d-scanner/technical-specifications-handyscan-3d> (参照 2013-02-28)

English Heritage. 2011 “3D Laser Scanning for Heritage Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture” Second edition, English Heritage Publishing, 38p

GOM mbH. 2013 “System overview” gom optical measuring techniques

<http://www.gom.com/metrology-systems/system-overview/atos-triple-scan.html> (参照 2013-02-28)

Mantis Vision Ltd. 2013 “Products” mantis vision

<http://www.mantis-vision.com/page/products> (参照 2013-02-28)

Miyamae, C. 2011 “Multi-class production framework based on 3D scanning data for archaeological artifacts -the digitalization of DOGŪ” Archaeological and Anthropological Sciences (in press)

(2013年3月15日受付, 2014年10月16日受理)

Three-Dimensional Measurements of Cultural Properties

Chisako MIYAMAE^{1,*}

¹⁾ Digital Heritage Development Department, Toppan Printing Co., Ltd., 1-3-3 Suido, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8531, Japan

^{*} Graduate School of Human System Science, Tokyo Institute of Technology, 2-12-2-W8-72 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan

Three-dimensional (3D) measurement techniques are essential in the modern digital archiving of cultural heritage. This article details the 3D measurement of cultural properties. Firstly, the article reviews the background of 3D measurement techniques. It includes the history of 3D measurement technology and also shows innovations in applying 3D measurement techniques to cultural heritage. Next, the article explains the 3D scanners that have been used to make 3D measurements of cultural properties, and the functions that are required for making 3D measurement of these artifacts. Although 3D measurement techniques have become popular, 3D measurement technology is currently in a state of transition and therefore the proper techniques are yet to be sufficiently understood. The accuracy of the acquired data is constantly raised as an essential topic of debate, too. In the latter part of this article, the author introduces several actual cases of 3D measurement of cultural properties, and explains 3D scanner selection and the results of 3D measurement. We invest a great deal of time and cost when making a 3D measurement, but acquired data from 3D scanners are often left in storage and unused. This may be because there is no definitive file format and browsing software for general usage of 3D data. Furthermore, the acquired data often lack essential metadata that should be present, namely, who recorded the data, when it was recorded, and how and why it was recorded. This article introduces an example of utilizing the acquired data for various purposes, and examines the advantages of digital data through this example.