

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 3日現在

機関番号：12606
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22720055
 研究課題名（和文） 彫刻文化財の修理における三次元デジタルデータの実践的な利活用とその効果の研究
 研究課題名（英文） Research for practical utilization and the effect of the 3D digital data in repair of sculpture cultural properties
 研究代表者
 山田 修（YAMADA OSAMU）
 東京芸術大学・大学院美術研究科・講師
 研究者番号：30571723

研究成果の概要（和文）：

本研究の最大の目的は、3Dデータの活用を彫刻文化財の修理において日常的に用いる手法にし、作業効率を改善し、低コスト化、質の向上を目指し、より多くの彫刻文化財の修理を可能にすることである。

実際の修理に対し手作業とデジタル操作に関わるコスト、時間といった諸要素の効果を可能な限り定量化し分析していくとともに、技術の伝承性を考慮した上で従来行われてきた伝統ともいえる作業方法と3D技術の共存できる接点を検討した。

研究成果の概要（英文）：

The first purpose of this research is to make practical use of 3D data the technique which can be used daily and to enable repair of more sculpture cultural properties to improve working efficiency, cost performance and quality.

While quantifying and analyzing the effect of the cost and time in connection with manual labor and digital operation in actual repair as much as possible, I examined the contact point which the traditional working method and 3D technique can coexist, after taking technical tradition into consideration.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：人文学

科研費の分科・細目：芸術学・芸術史・芸術一般

キーワード：芸術諸学、コンテンツ・アーカイブ、情報工学、保存修復、文化財、3D

1. 研究開始当初の背景

レーザースキャナを使用した文化財の3D（三次元デジタル）化の研究は、正確な立体形状の取得を主たる目的として10年ほど前から工学の分野を中心に行われるようになった。機械自体の性能や取得データを処理

するソフトウェア機能を評価する上で、多種多様な形状や材料で構成される文化財は、その対象物としてまさに最良のサンプルであり性能の向上や技術の普及へ寄与した。

このレーザースキャナ技術に文化的意義を加味し、実践的に応用していく形で東京藝術大

学大学院美術研究科文化財保存学保存修復彫刻研究室（以下研究室）では、2004年から今までにレーザースキャナを用いて100体にも及ぶ仏像等彫刻文化財の3D化を行い、デジタルアーカイブとして管理、活用しており、学生による模刻制作研究の資料教材、さらには美術史研究へ活用していくことで一定の成果をあげてきた。

研究室では、文化財保護の共通した理念に基づく彫刻文化財の修理を常時行っており、数多くの実績を挙げている。合成樹脂の使用や若干の電動工具の使用といった道具や材料において、時代に応じた変化は見られるものの、修理自体は人の手による伝統技法で行なうのが現状である。

その一方で実際に手作業で行われている彫刻文化財の修理に対してどのように3D技術を有効に取り入れていくかを重要な課題としてきた。各地で行われている多くのレーザー計測の事例では、形状記録を目的とするものが多く、国内外を含め日常的に実際の修理に直結して応用されている例は、技術的には検証されている程度で、あくまで実験段階に留まるにすぎない。

これまでも研究室では、修理を要する文化財に対して、これらの3D技術の利用を修理物件に対して試験的にを行いその可能性を探究してきた結果、修理作業が必要とする意図をうまくデジタル技術で表現することが出来なかったり、コスト、3Dデータの処理等、幾つかの要因による課題、問題点に直面してきた。

また3D技術を利用した作業によって、従来の手作業に代わる修理ができたとしても、それが作業者の技術の習得機会の減少や伝承への妨げになるといったマイナス要因も考えられ、長い目で考えた時に技術自体の低下に繋がるのが想定される。その一方で時間をかけたくてもかけられなかった作業に一層の労力をかけることで、従来の修理手法を発展させることができるといったプラス要因も想定されるため、双方のバランスを如何に保つべきかということを念頭においた上で技術導入への考察を行なう必要があった。

2. 研究の目的

昨今レーザースキャナ等の機材を用いて非接触で文化財の立体形状をコンピュータ（以下PC）上に記録する三次元デジタル（以下3D）化は遺跡、建造物、美術工芸品といった文化財の様々な分野で徐々に使用されるようになり、彫刻文化財においても十分な成果を挙げている。しかしこのような技術は測量・図化等の記録を必要とする調査段階での利用や、映像・デジタルコンテンツといったマルチメディアでの利用に留まり、実

際の修理作業に直接的に関与するような使用方法は日常的に行われていないといっても過言ではない。本研究では修理作業に適用可能な3D技術を検討していくことで、修理作業の効率性を高めつつ、伝統的手法に対しても受容されるべき手法を確立しようとするものである。

そのためには現在行なっている手作業に対して3D技術による明確な利点を打ち出す必要があり、手作業と3D作業それぞれに要する時間、費用等を定量的に算出することによって、3D技術の導入が現状に対してどのような効果をもたらすかを検証していくことが求められる。

これらを遂行するにあたって修理への応用が期待される3D技術を次頁に示す。

3. 研究の方法

本研究の一連の流れとしては、彫刻文化財の修理に対して3D技術の「調査」、「検証」、「応用」の三段階に大別され、概ね平成22年度、23年度、24年度にそれぞれの段階の研究を行った。

「調査」においては修理に必要な作業である記録・図化、材料の積算、補作・復元といった工程で有効と考えられる3D技術を検討し、その調査結果を踏まえて、平成23年度では実際に修理物件に対して、3D技術、修理技術、機械工作技術のそれぞれの得手不得手を明らかにし、それぞれの連携を取りやすい最適な手法を確立していった。そして最終的に実際に一連の作業工程について3D技術を導入していくことによって、その作業効率について数値的に算出し評価していくとともに、それに伴う従来作業に対する影響を加味して一連の作業方法を確立していった。

4. 研究成果

(1)平成22年度では彫刻文化財の修理に必要な作業である記録・図化、材料の積算、補作・復元といった工程で有効と考えられる3D技術を検討し、以下の観点からその可能性を見極めるとともに有効な使用方法を調査していった。

①基礎データ作成のための表示手法

修理において作業者が求める図面作成するために、なるべく汎用的なPCソフトウェアを選定し、その機能を十分検討することにより有効な表現手法を判断した。また立体視といった立体認識において有効であると考えられる新たな表現方法においても検討を行った。

②材料の積算手法

実際にPC上で大きさを測定し、必要な材の積算手法を検討し、不規則な自由曲面を持つ彫刻文化財から正確な体積、表面積をより

効率よく算出する手法を検討した。

③欠損、亡失部分に対する補作、復元

CG制作で使用されるブーリアン変換（立体形状における集合論）を用いることで雌型をつくといた型取り作業をPC上で行うことができ、逆にこの技術を応用して、部材の欠損部分を埋めるための補作部分の3Dデータの作成手法を検討した。そのためにはデータ処理上クリアしなければならない点がいくつか見出され、次年度以降の課題とした。

(2)平成23年度では前年度検討した3D技術について、実際に行っている彫刻文化財の修理事物件に対して一部実践的に活用していくことで評価を行い、その際に生じる問題点や課題を明確にし、その改善点、解決法を検討した。3Dデータの処理を行うにあたってクリアしなければならない点がいくつか見出されたが、試行錯誤の末に解決され、以下のように実際に修理に適応することが可能になった。

①修理に必要な材料の寸法は現場で測って算出しても、正確に把握することが困難であった。3DデータからPC上で仮想材料をあてはめ、寸法を導き出すことで無駄なく行えることが分かった。

②NC切削技術を用いた修理における補作部材の制作は、部材間の取り合いの寸法や抜け勾配を考慮する点で、検討を要したが、具体的な段取りや設定数値などを明確にした。

その結果3D技術、手作業による修理技術、機械工作技術のそれぞれの得手不得手が明らかになり、それらの欠点をお互い補完する形で、単にデジタル技術の一方的な導入ではなく、双方バランスの良い関係をつくりながら作業が可能にしていくことが求められた。

技術的観点だけでなく、時間や費用が関係する生産効率といった点からも考察を行っていくことで、単に研究のとどまらず、実践的に取り入れられるべき技術として確立していくことを目指すこと、また今回の研究のメインテーマとなる伝統技法とデジタル技術におけるその垣根を超えた活用法といった受容性については次年度の課題とした。

(3)平成24年度では過去2年間の研究成果を基に、3Dデータを実践的に彫刻文化財の修理に活用し、その結果を多視点から評価することで、実践的に応用する手法の確立を行った。その詳細は以下の通りである。

①修理において腕等の部位の角度の調整や配置後の姿のシミュレーションを行うことで修理方針を策定するための検討資料の制作手法を確立した（図1）。

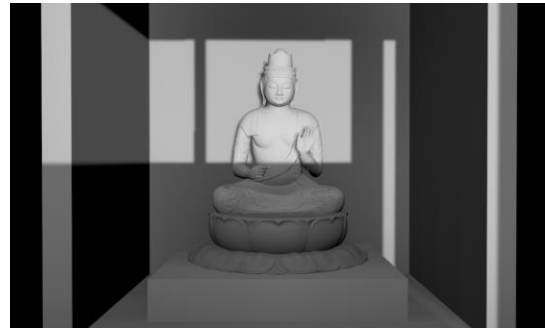


図1 新補する台座の高さをCGシミュレーションにより検討を行った。（茨城県桜川市真壁町田山口地区 虚空蔵菩薩坐像）

②積算：修理に必要な材の積算においては目視や実測では見誤るような積算も、3Dデータから正確に無駄なく効率よく行う手法を確立した（図2）。

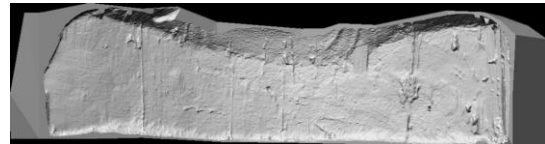


図2 体幹部と両脚部の表面の形状をレーザー計測によって取得し、想定される補作部材の3Dデータを作成した。必要とされる材料の木取りや寸法においても3Dデータから検討した。（同上像）

③補作：3D加工機を使用することで欠損部分といった複雑な損傷面に対しても正確に合致する補作材を制作する手法を確立し、実用化した（図3）。



図3 像左手先の接地部分に丁度はまる宝塔基壇の下部分の切削を行った。（茨城県小山寺毘沙門天立像）

またこれらの手法によって、作業効率を改善し、低コスト化、質の向上を目指し、より多くの彫刻文化財の修理を可能にし一般的な実用化への兆しが見込まれるが、単純に定量化できず一律に評価できず、課題を残すことになった。それは修理作業においてデジタ

ル技術や機械に可能な限り頼ったとしても修理方針や手法、最終的な調整のためには一定の技能を有する技術者が必須であり、完全にそれらに頼り切ることはできないということである。また文化財修理の技術、理念を踏まえたデジタルにおける技術者の育成も求められるだろう。

総括としては、現段階において、対応可能な設備、操作等の人員の問題はあるが、特定の条件下においてはより理想に近づく作業を短時間、低コスト化で行うことは可能になったといえる。しかし彫刻文化財の修理作業においては人材育成、伝承性といった観点からどこまで3D データを活用してよいか、換言すれば伝統に対する新技術の受容性についての議論は引き続き行い、その両者の時代に応じた接点を文化財修理の理念、倫理観に則り、見つけていかなければならないであろう。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

- ① 山田修、「彫刻文化財の修復への三次元データの実践的な利活用における作業効率と受容性」、文化財保存修復学会 第 34 回大会研究発表要旨集、P054、2012 年 6 月 30 日、日本大学文理学部百周年記念館

[図書] (計 1 件)

- ① 共著、山田修他、勉誠出版、「彫刻文化財における 3D データの活用 —「アナログ」と「デジタル」の調和」、『アーカイブのつくりかた 構築と活用入門』、2012 年、249 頁 (P.163-174)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：

番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等
特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 修 (YAMADA OSAMU)
東京藝術大学・大学院美術研究科保存修復
彫刻研究室・非常勤講師
研究者番号：30571723