

鎌倉 真音, 宮崎 大輔, 肥後 智昭, 岡本 泰英, 川上 玲, 白鳥 貴亮, 猪狩 壮文, 小野 晋太郎, 佐藤 啓宏, 大屋 美那, 田中 正之, 池内 克史, 青柳 正規,
"ロダン彫刻「カレーの市民」3次元デジタルアーカイブ～3次元デジタルモデルを用いた美術的考察～,"
日本バーチャルリアリティ学会第11回大会論文集,
2006年9月 to appear.

ロダン彫刻「カレーの市民」3次元デジタルアーカイブ ～3次元デジタルモデルを用いた美術的考察～

3D Digital Archive of Rodin's Sculpture "Burghers of Calais"
～Artistic Considerations for Rodin's Sculpture Using 3D Digital Models～

鎌倉真音¹⁾, 宮崎大輔¹⁾, 肥後智昭¹⁾, 岡本泰英¹⁾, 川上玲¹⁾, 白鳥貴亮¹⁾, 猪狩壮文¹⁾, 小野晋太郎¹⁾,
佐藤啓宏¹⁾, 大屋美那²⁾, 田中正之²⁾, 池内克史¹⁾, 青柳正規²⁾

Mawo KAMAKURA, Daisuke MIYAZAKI, Tomoaki HIGO, Yasuhide OKAMOTO, Rei KAWAKAMI,
Takaaki SHIRATORI, Akifumi IKARI, Shintaro ONO, Yoshihiro SATO,
Mina OYA, Masayuki TANAKA, Katsushi IKEUCHI, and Masanori AOYAGI

1) 東京大学 生産技術研究所

(〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1,

{mawo, miyazaki, higo, okamoto, rei, shiratori, ika, onoshin, yoshi, ki}@cvl.iis.u-tokyo.ac.jp)

2) 国立西洋美術館

(〒110-0007 東京都台東区上野公園 7-7, {oya, tanaka}@nmwa.go.jp, msnryg@attglobal.net)

Abstract: We have created a 3D digitally archiving data of Rodin's "Burghers of Calais" through 3D measurement. Auguste Rodin is the most celebrated sculptor of the 19th century. His works, such as The Gates of Hell, The Thinker, and The Burghers of Calais, are famous worldwide. To our knowledge, no art historians have analyzed three-dimensional data of Rodin's work. This paper describes our project to fill this need by digitally archiving the bronze statue, The Burghers of Calais. First, we scanned the 3D geometry of the sculpture by using a laser range sensor. After that, we analyzed the resulting 3D data using expert knowledge in the field of art history and technology developed in the fields of computer vision and graphics.

Key Words: Digital Archive, Laser Scanner, 3D Digital Model, Sculpture by Rodin (Burghers of Calais).

1. はじめに

フランソワ・オーギュスト・ルネ・ロダンは「近代彫刻の父」と称され、19世紀最大の彫刻家と言われている。[1]ロダンの作品には「地獄の門」、「考える人」、「カレーの市民」などがあり、世界中で知られている。「カレーの市民」は、14世紀イギリス軍包囲の際に市を救うために自らの命を差し出しに向かうフランス・カレー市の市民の史実に基づくカレー市からの公的な注文彫刻である。ロダンは、注文を受けた英雄「ウスター・シュド・サン・ピエール」のほか、6人の英雄全員の群像彫刻とし、凛々しい英雄像をとの依頼に対して、等身大の人間のドラマ、激しい苦悶の現実的・普遍的な表現としてそれを造形化した。ロダンは最初に制作した粘土像は型どりにより石膏像に移し替えられ、それをもとにブロンズ鋳造が行われた。ブロンズの群像としての『カレーの市民』最終作は、日本の公的な機関では国立西洋美術館(図1)に所蔵されている1点のみであるが、世界にはこのほか11点のブロンズ像がある。これ以外に、それぞれの人物の単独像(裸体、着衣の別あり)が存在する。同一の型から複数のブロンズ像を制作することは、

ブロンズ彫刻においては普通のことであるが、『カレーの市民』の場合には一つの群像のなかの別の人物像の細部に同一の型から鋳造した部分が使用されていることに特徴がある。

我々は、3次元デジタルアーカイブの技術[2]を用いて、「カレーの市民」の3次元デジタルモデルを取得した。歴史的な建造物や美術品などの文化財をアーカイブデータとして保存することは非常に意義がある。特に、近年急速に発展した情報処理技術を用いて3次元デジタルアーカイブを行うことは、文化財科学的な面、情報学的な面の両面の意義がある。このような3次元デジタルモデルを用いて、像の頭部など普段は不可能な視点からの姿の再現、ロダンが制作した白い石膏原型の再現、さらに3次元モデルを部分的に切り出すことによる同じ型だと言われる部位の位置合わせなどを行った。本論文では、2章で3次元モデルを用いた美術的観点からのアプローチについて示し、3章でこのような考察を支える3次元デジタルアーカイブ技術について3次元モデルの作製手順を述べる。4章では、作製した3次元モデルを実験段階の映像ガイド[3]に入れたことによるユーザー評価を考察し、最後にまとめる。



図 1 ロダン彫刻「カレーの市民」(国立西洋美術館)

2. 3次元デジタルモデルを用いた美術的考察

レーザーレンジセンサーを用いた計測により取得した3次元デジタルモデルは、コンピュータ処理により視点の制約を廃し、自由に視点を選ぶことが可能なこと、色の変化や任意光源環境における影の再現などといった仮想的な画像が容易に作成できること、形を自由に加工できることなどの特長をもつ。本章では、これらの特長を活かした3次元デジタルモデルを用いた美術的観点でのアプローチについて述べる。

2.1 自由視点選択による視点移動

計測により取得した3次元デジタルモデルは、コンピュータ内にその全体形状をもっている。これにより視点の制約がなくなり、自由に視点を選ぶことができる。ロダンは完成した群像の見せ方について、人間の目線を考慮した像の設置位置を思案したとされる。3次元デジタルモデルの視点を移動することにより、少し上を向いて眺めるといった視点だけでなく、真上や真下、あるいは群像の中に入ってこの像を眺めることができる。

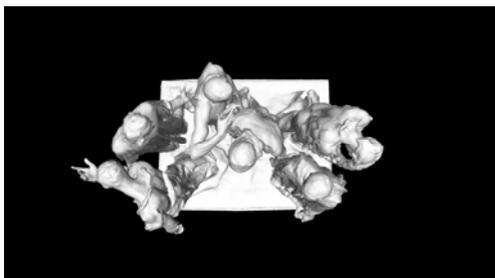


図 2 真上から見た「カレーの市民」

2.2 色再現と任意光源環境での影再現

3次元デジタルモデルは色を変化させたり、光源環境に応じた影の再現が可能である。ロダンの彫刻作品は、ブロンズ像として親しまれているが、ロダンは白い石膏像を手元に置き、それをろうそくの灯で眺めるのが好きだったと言われている。3次元デジタルモデルを用いて、白い石膏色の像をろうそくの灯を手にとって任意に照らしている様子を再現した。



図 3 石膏像とろうそくの灯

2.3 形状の自由加工

3次元デジタルモデルは、その形状を自由に加工することが可能である。

ロダンは、静止した彫像で身体の動きを感じさせるために試行錯誤を繰り返し、群像表現や6人の英雄の並び方で動きを表現したとされる。6人の英雄を1体1体切り離し、ぐるっとまわるように配置された6人をその順番のまま1列に並べた。この整列により、群像表現ではわかりにくかった6人それぞれの体の傾き具合や顔の表情が浮き彫りとなった。

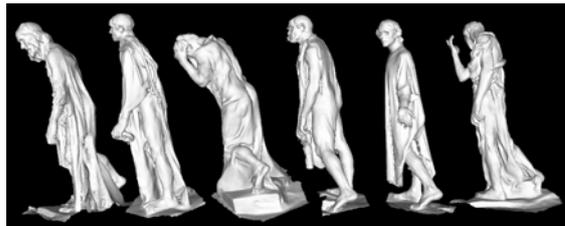


図 4 整列した「カレーの市民」

また、ロダンはあらかじめ何種類もの頭部や手などの部分的な型を作製し、これらを繰り返し組み合わせることで多くの作品を作ったと言われている。同じ型を使ったとされる「カレーの市民」の2体の2つの手に関して、3次元デジタルモデルの手の部分を切り出し、2つの手の形状を重ね合わせることで形を比較した。この結果、同じ型を使っていることが実証することができた。

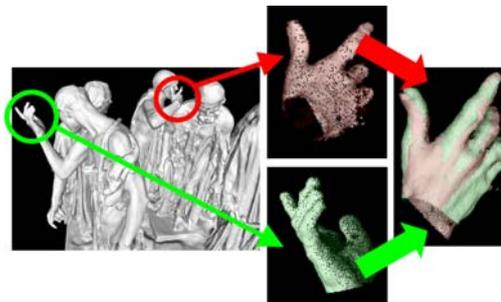


図 5 同じ型の手の重ね合わせ比較結果

3. 3次元デジタルアーカイブ技術

3次元デジタルアーカイブは、物体の表面形状を高い精度で計測し、デジタルデータとして保存することが可能である。レーザレンジセンサー（図2）を用いて行う。レーザレンジセンサーを用いた物体の形状取得は、データ取得、位置合わせ、統合の3つの処理を行うことで成り立っている。本章では、この3つの処理について述べる。

3.1 データ取得（スキヤニング）

レーザレンジセンサーを用いて物体全体を複数回にわたって計測する。[4]通常、レーザレンジセンサーの計測範囲は、可視領域に限られ、1回の計測では物体の部分的な形状しか得ることができない。このため、物体全体の形状を取得するには、異なる位置、異なる方向から複数回の計測を行う必要がある。得られた複数の部分的3次元モデルを処理して物体の3次元モデルを生成する。

計測によって得られたデータは点群データであるため、頂点間の接続関係を求めてメッシュデータに変換する。レーザレンジセンサーから得られたデータは、格子状に並んだ離散的な頂点群である。そこで、格子状に隣り合う頂点同士を接続することでメッシュデータに変換することができる。このとき、距離閾値などを用いることによって不連続な面は除去しておく。



図6 レーザレンジセンサー

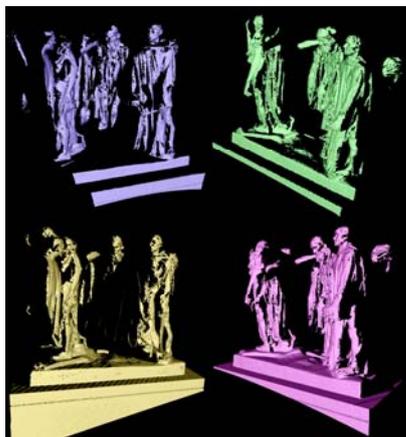


図7 取得データ

3.2 位置合わせ（アラインメント）

取得した部分モデルの相対的位置姿勢を求める位置合わせ処理を行う。レーザレンジセンサーによって得られた

複数の部分モデルは、計測された位置と姿勢によってそれぞれ異なる座標系で記述されている。そのため、これらの座標系を統一する必要がある。

2つの重なり合う部分モデルの相対位置姿勢を推定する手法として、Iterative Closest Point (ICP) が最も広く知られている。この手法では、2つの部分モデルに含まれる頂点間で対応点を探索し、対応点間距離が最小となるような相対位置姿勢を求める。これを繰り返し行うことによって最適解を求める。また、多数の部分モデルを順次位置合わせしていくと、誤差の蓄積によって局所的に大きな誤差を生じてしまうため、これを避けるため、すべての部分モデルの相対位置を同時に推定する手法を用いる。[6]

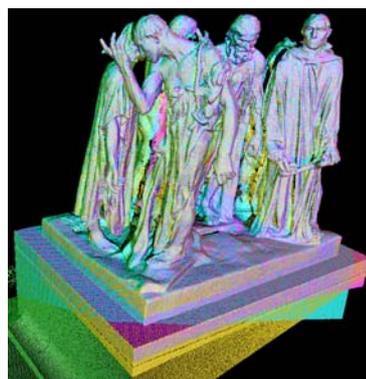


図8 アラインメント結果

3.3 統合（マーキング）

位置合わせされた複数の部分モデルを統合して、1つのメッシュモデルを生成する。複数の部分モデル間に重なり領域があるため、この領域を統合して1つのモデルに変換する必要がある。

部分モデルの統合には、Zipper法[7]やボリュームメトリックな手法が用いられる。Zipper法では、2つの部分モデル間で重なり合う部分を取り除いた後、境界部分をつなぎ合わせることで統合を行う。ボリュームメトリックな手法では、複数の部分モデルをある1つのボクセル空間内に投影し、ボクセルからの符号付距離による陰関数表現によって統合を行う。ボリュームデータはマーキングキューブ法を用いて、メッシュデータに変換される。[8]



図9 マーキング結果

4. 評価

今回、我々が作製した「カレーの市民」3次元デジタルモデルは実験段階の映像ガイドの情報のひとつとして取り入れられた。従来の音声ガイドの機能に、映像資料や3次元デジタルモデルを付加したこのガイドに関して、ユーザーの評価をアンケート調査という形で取得した。映像ガイドの体験者は、男性：女性=40%：60%，年齢層も20代～60代までの幅広い層の方々であった。

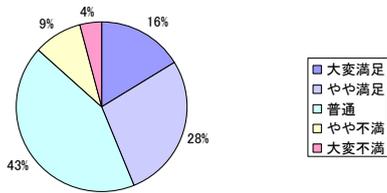


図 10 画像に対する満足度

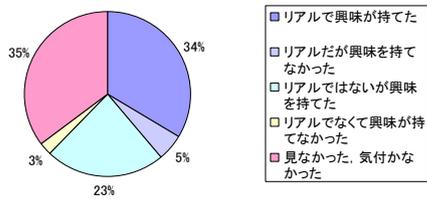


図 11 真上から見た画像に対する興味

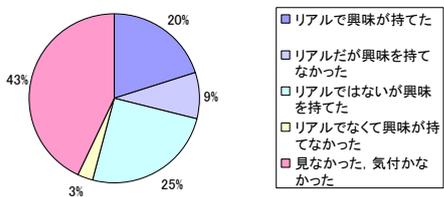


図 12 「ろうそくの灯」再現画像に対する興味

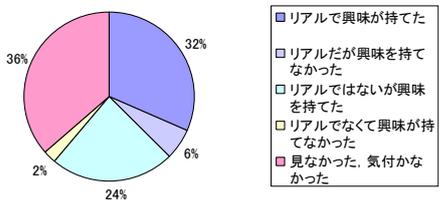


図 13 整列した画像に対する興味

以上の結果のように、作製した画像を見たユーザーは、画像それぞれに興味を持ち、映像ガイドの中の情報としてもおおよそ満足を得ているという評価が得られたことになる。

5. まとめ

本論文では、ロダン彫刻の3次元デジタルモデルを用いた美術的観点での考察、ならびに3次元デジタルアーカイブ技術について述べた。また、作製した3次元デジタルモデルを映像ガイドに入れたことによるユーザー評価結果について示した。

3次元デジタルモデルを用いることで、これまでのさまざまな美術的な考察に関して、その美術品を実際に分解したりすることなく検証、考察することができた。また、ロダンが制作当時、試行錯誤していたと言われている像の配置や並べ方などについても再現することができた。

また、映像ガイド端末によるユーザー評価では、これらの画像を見られたことへの満足度もあり、それぞれの画像への興味も深いという結果を得た。

謝辞 3次元デジタルアーカイブの技術開発は、文部科学省「知的資産の電子的な保存・活用を支援するソフトウェア基盤技術の構築」事業の助成により行われた。「カレーの市民」の3次元計測は、「ウエル.com 美術館プロジェクト」の一環として行われた。「ウエル.com 美術館プロジェクト」は、国立西洋美術館と館長の青柳正規、東京大学教授の坂村健、東京大学教授の池内克史、日本写真印刷株式会社、YRP ユビキタス・ネットワークング研究所、NHK エデュケーショナル、が携わっている[3]。本研究にあたりまして、西洋美術館の荒井久登様、NHK 横尾堅示様、倉森京子様、NHK エデュケーショナルの滝澤孝司様、アート・コーディネーターの内田真由美様には感謝申し上げます。

参考文献

- [1] フランス国立ロダン美術館：ロダン事典，淡交社，2005
- [2] Katsushi Ikeuchi, Yoichi Sato: Modeling from Reality, Kluwer Academic Publishers, 2001.
- [3] ウエル.com 美術館プロジェクト，
<http://www.nmwa.go.jp/jp/files/wel.pdf>
- [4] Cyrax2500, <http://www.leica-geosystems.com>
- [5] K. Nishino and K. Ikeuchi, "Robust simultaneous registration of multiple range images," *Proc. Asian Conf. on Computer Vision*, 454-461, 2002
- [6] T. Oishi, et.al, "Fast Simultaneous Alignment of Multiple Range Images using Index Images," *Proc. Int'l Conf. on 3-D Digital Imaging and Modeling*, 476-483, 2005.
- [7] G. Turk and M. Levoy, "Zippered polygon meshes from range images," *Proc. SIGGRAPH*, 311-318, 1994.
- [8] R. Sagawa, K. Nishino, and K. Ikeuchi, "Adaptively Merging Large-Scale Range Data with Reflectance Properties," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **27**(3), 392-405, 2005.