

イタリア・ソンマヴェスヴィアーナにおける 3次元形状デジタル化技術の利活用

Effective Utilization of Techniques for Digitizing 3D Shapes in Somma Vesviana, Italy

高松 淳 小野 晋太郎 影澤 政隆 池内 克史
Jun TAKAMATSU, Shintaro ONO, Masataka KAGESAWA and Katsushi IKEUCHI

東京大学生産技術研究所
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 駒場 II キャンパス E 棟
東京大学生産技術研究所 第3部 池内研究室
j-taka@cvl.iis.u-tokyo.ac.jp

Abstract Recent advanced technology for digitizing 3D shapes of actual objects attracts not only computer vision and graphics researchers but also architects and historians; the technology has possibilities to become a novel resolver in their field. We have developed both hardware and software for the digitization and actually revealed historical mysteries using them. In this paper, we will introduce effective utilization of the technology in Somma Vesviana, Italy.

キーワード 3次元形状デジタル化, デジタル平面図作成, 仮想修復

1 はじめに

近年, 3次元形状を簡便に取得できるデバイスや, それらのデータを適切に加工するための位置あわせ [1]・統合 [2] 等のソフトウェアの発展により, 高精細な3次元形状デジタルデータが手軽に利用できるようになった。そのため, これらの技術はコンピュータビジョン・グラフィックスの分野のみでなく, 建築学・歴史学など様々な分野で注目を集めることとなった。

我々は Grate Buddha Project[3] や Bayon Digital Archival Project[4] を通じて3次元形状デジタル化のためのハードウェア・ソフトウェアの開発を行う傍ら, それらのデータを用いて建築学・歴史学の様々な疑問に対し, コンピュータビジョン研究者という立場から, その解明に努めてきた [5, 6, 7]。

本資料では, 東京大学青柳教授¹チームが発掘中であるイタリア・ソンマヴェスヴィアーナにある歴史的建造物 (図1参照) - 初代ローマ皇帝 Augustus の別荘ではないかとされている - のデジタル化を行い, そこで得たデータを用いて行ってきた様々な応用を主に紹介する。

我々は発掘物のデジタル化を2003年から現在まで計4回行ってきた。表1にその概要を示す。4回目のデータは現在処理中であるため, 本資料では他3回の計測結果のみを用いている。また2005年からは, 同時代の代表的な建造物であるポンペイ遺跡「メナンドロの家」



図1: 発掘の様子

のデジタル化も行ってきた。これらの建造物をデジタル的に比較することにより, 現在発掘中の建造物の歴史的由来に関する疑問が解消されるのではないかと期待している。

2 平面図の作成

作業の進行の確認・計画や様々な情報のデータベース化において, 平面図等の図面は非常に役に立つツールである。発掘中の遺跡においては常にその形状が変化してしまうため, 簡便に短時間で現状に即した平面図を作成できることは, 非常に意味があると思われる。実際に, 我々は別荘の3次元形状デジタルデータから以下のような方法で平面図を作成した (図2参照):

1. 仮想空間中で水平面を決定する。
2. 3次元デジタルデータを複数の適当な高さの水平面で切断する。
3. 切断された輪郭線の情報を一つに統合する。

¹現在, 国立西洋美術館館長。

表 1: ソンマヴェスヴィアーナでの計測内容の概要

	日時	計測機材	計測対象
1 回目	2003 年 10 月	Cyrax2500 Vivid910	別荘, 柱頭 男性像 女性像
2 回目	2004 年 10 月	Cyrax2500 Z+FImager5003 Vivid910 FLRS	別荘 男性像 女性像
3 回目	2005 年 10 月	Cyrax2500 Z+FImager5003 Vivid910	別荘 アーチ
4 回目	2006 年 10 月	Cyrax2500 Z+FImager5003	別荘

ここで、問題となるのは仮想空間中での水平面を決定する方法である。

2.1 水平面の決定

水平面を決定する最も単純な方法は、鉛直方向を示す物体を実際に計測することである。また基準点・水準点が存在する場合には、それらを計測し水平面を決定する方法も考えられる。しかし、これらの手法では、デジタルデータ中から、それらの特徴を抽出する必要があり、手間がかかるという問題がある。そこで我々は、あるセンサの特徴を利用して、簡便に水平面を推定する方法を提案する。

Z+F Imager 5003 と呼ばれるセンサ (図 3) は、全方位を一回で計測することのできるセンサである。レーザ照射口が水平軸周りに回転し、センサ全体が鉛直軸周りに回転することで全方位計測を可能にしている。センサ全体を回転させるモータの負荷を小さくするために、センサを設置する際、付属された水平器により水平を取ってから計測を開始することになる。そのため鉛直方向は得られたデータの上向きである z 軸の向きから決定できる。しかし、ある一つのデータのみから決定したのでは、設置時における誤差の影響により正しく推定されているとはいえない。

各計測データの座標系は z 軸のみが一致している、つまり z 軸周りの回転により完全に一致させることができるといえる。そこで我々は、回転ジョイントのパラメータ推定法 [8] を用いて水平面を最尤推定法に基づき決定する。この手法では Z+F 座標系での回転軸の向きも同時に推定するので、推定された軸と z 軸とのなす角を見ることがにより、推定の信頼度を決定することもできる。

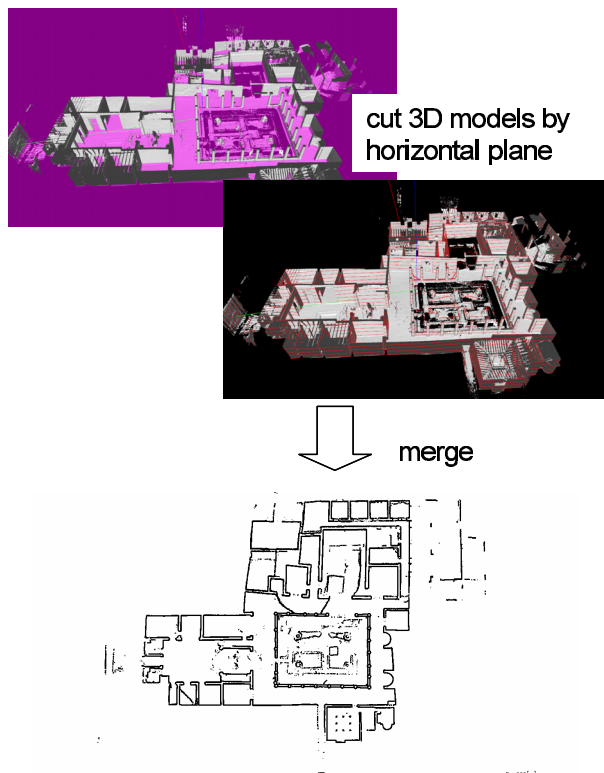


図 2: 平面図作成の概要



図 3: Z+F Imager 5003

2.2 結果

図 4 に、ソンマヴェスヴィアーナでの発掘の様子をデジタル化したものと、そこから得られた平面図を示す。また、メナンドロの家のデジタルデータから得られた平面図を図 2 に示す。

2.3 考察

まず計算時間に関して考察する。デジタルデータ (Binary PLY フォーマットで数百 MB 程度) から水平面を推定し、平面図を作成する計算は、一般的な計算機を用いても数秒程度である。また計測データの取得およびデータ処理も、今回の例では 3 日程度であった。平面図のみを作成する目的でデータの取得を行えば、もう少し時間を短縮することも可能である。この結果から比較的短時間で平面図の作成ができるといっても過言ではない。

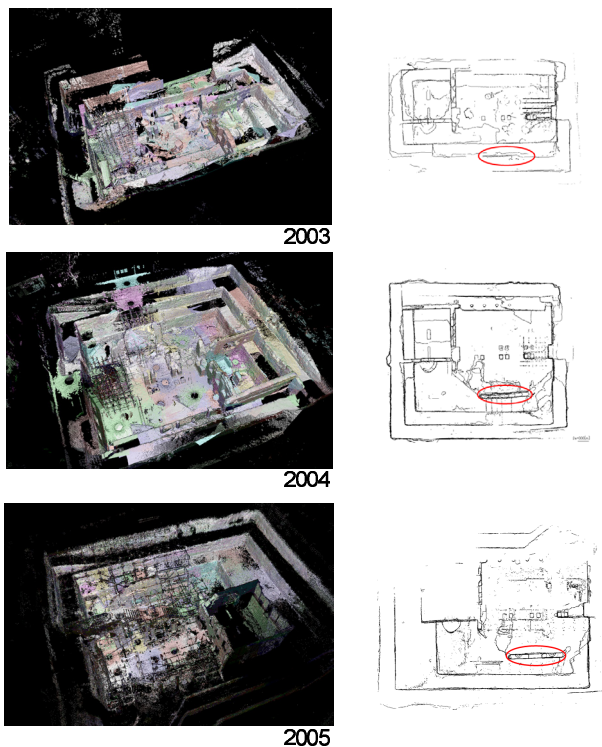


図 4: 発掘の様子 : 3次元モデルと平面図

次に平面図の質に関して考察する。メナンドロの家に関しては既に平面図が作成されている [9]。ただ我々が取得した平面図は縮尺がわからなかったため、今回は形状のみを比較した。我々の手法で取得した平面図を拡大・縮小・回転し、既にある平面図上に重ね合わせたものを図 5 に示す。厳密な考察には更なる検証が必要であるが、一見して得られた平面図の質は十分なものであるといえる。

3 修復行為の有効性の検証

図 4 で丸で示された部分には装飾壁がある。発掘された際は前に倒れかけていたため、それを起こす作業を 2005 年に行っている。一般に修復作業の是非を客観的に確認することは困難であり、その有効性を確認することは非常に重要であると考え。そこで我々は修復作業の効果を可視化することを試みた。

まず図 6 に修復の前後でどれくらい壁の位置が変化したかを可視化した。実際に修復の前 (2004 年) と後 (2005 年) でかなり変化していることが一目瞭然である。

次に修復の有効性を検証するために、この部分の平面図を拡大したものを用いて、複数の水平面で切断された結果を重ねて表示したものであるため、修復前の平面図には切断輪郭が複数確認できる。正しく修復さ

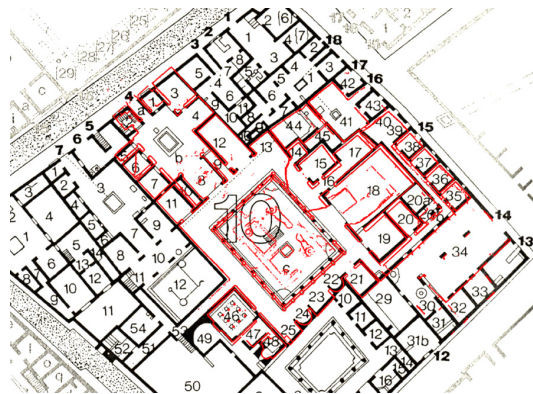


図 5: 平面図の比較

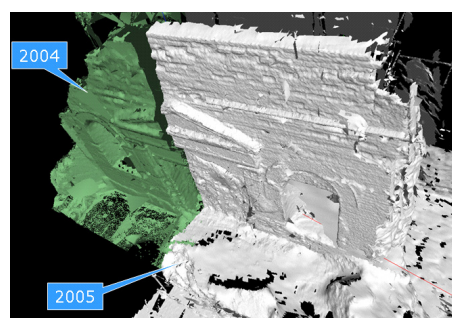


図 6: 修復具合の可視化

れたならば、輪郭は水平面上でいつも同じ箇所に現れているべきであり、修復後の平面図はまさしくその通りになっている。さらに確認のために、壁を横方向に切断した様子を図 8 に示す。明らかに修復後は壁が垂直に立っていることが確認できる。

4 仮想修復

2003 年、2004 年に計測した男性像は、図 9 に示すようにばらばらの状態で出土した²。我々は個々のパーツをデジタル的に組み合わせることで、仮想的に修復することを試みた。各パーツの断面形状から正しい取り付け方は決定できるはずであり、実際に断面部分に対して位置あわせ処理を行うことにより仮想修復を行った。その結果を図 10 に示す。

5 まとめ

本資料では、イタリア・ソンマヴェスヴィアーナにおける 3次元形状デジタルデータの利活用の例として、平面図の作成、修復効果の検証および可視化、仮想修復の

²現在は修復されている

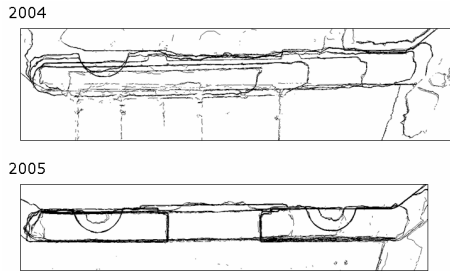


図 7: 修復の効果の検証 1

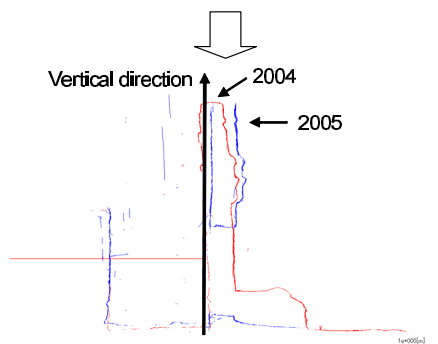
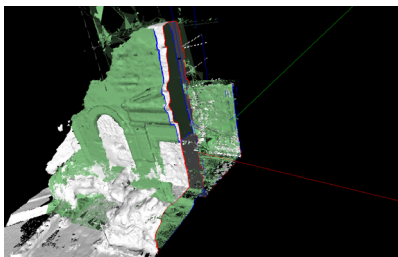


図 8: 修復の効果の検証 2

例を紹介した。今後、ポンペイ遺跡「メナンドロの家」との比較を通じて、現在発掘中の建造物の歴史的由来に関する疑問を解消することをできれば、と考えている。

Acknowledgments

なお本研究は、文科省科研費補助金特定領域研究 (課題番号 16089206) の補助を受けている。

参考文献

- [1] P. Besl and N. McKay. A method for registration of 3-d shapes. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 14, No. 2, 1992.
- [2] W. E. Lorensen and H. E. Cline. Marching cubes: A high resolution 3-d surface construction algorithm. *Proc. of SIGGRAPH*, pp. 163 – 169, 1987.
- [3] 池内克史, 倉爪亮, 西野恒, 佐川立昌, 大石岳史, 高瀬裕. The grate buddha project - 大規模文化遺産のデジタル

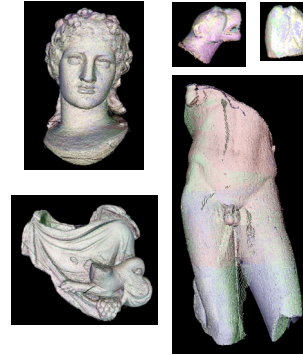


図 9: 発掘時の男性像のデジタル化



図 10: 仮想修復された男性像

コンテンツ化 -. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 103 – 114, 2002.

- [4] K. Ikeuchi, K. Hasegawa, A. Nakazawa, J. Takamatsu, T. Oishi, and T. Masuda. Bayon digital archival project. *Proc. of the 10th Int. Conf. on Virtual System and Multimedia*, pp. 334 – 343, 2004.
- [5] 大石岳史, 増田智仁, 倉爪亮, 池内克史. 創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 429 – 436, 2005.
- [6] Tomohito Masuda, Setsuo Imazu, Supatana Auethavekiat, Tsuyoshi Furuya, Kunihiko Kawakami, and Katsushi Ikeuchi. Shape difference visualization for ancient bronze mirrors through 3d range images. *The J. of Visualization and Computer Animation*, Vol. 14, No. 4, pp. 183 – 196, 2003.
- [7] Mawo Kamakura, Takeshi Oishi, Jun Takamatsu, and Katsushi Ikeuchi. Classification of bayon faces using 3d model. *Proc. of 11th Int. Conf. on Virtual Systems and Multimedia*, 2005.
- [8] 高松淳, 佐藤啓宏, 木村浩, 池内克史. 誤差を考慮した観察による回転ジョイントのパラメタ推定. 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU), 2004.
- [9] *Pompei: pitture e mosaici*. Istituto della enciclopedia italiana.