

デジタル大仏のつくり方 ～文化遺産のデジタルコンテンツ化～

池内克史

戦略的創造研究推進事業「高度メディア社会の生活情報技術」領域
文化遺産のメディアコンテンツ化のための自動化手法プロジェクト研究代表
東京大学大学院情報学環 教授

1. 研究の背景とねらい

鎌倉大仏や奈良大仏といった有形文化財は、天災や人災の為、消失してしまう可能性がある。また、人間国宝の技などの無形文化財は、後継者難のため断絶してしまう可能性がある。かけがえのないこれらの有形・無形の文化財を、各種のセンサーを用いて観測し、得られたデータをもとに、最新のコンピュータビジョンの研究成果を用いて、容易にかつ簡便にデジタル化できる技法を開発している。本プロジェクトは、図1に示すように

1. センサーからの部分情報を統合して全体的な3次元形状を得る**幾何情報取得法**
2. 色・艶といった物体の見えを得る**光学情報取得法**
3. 複数の画像を合成するために必要になる周辺状況をモデル化する**環境情報取得法**
4. 人間国宝のような匠の技の保存を目指す**時系列情報取得法**

といった4つの側面からなる。

このプロジェクトの成果により文化遺産のデジタル化を進めることで、先進的で高度な画像処理の技術が開発できるだけでなく、

1. 紛失、焼失、後継者難による断絶といった危険にさらされている文化遺産のデジタル保存
2. 得られたデジタルデータと文献等の知識に基づく文化遺産のデジタル修復
3. 多くにユーザが、その自宅を離れることなく、文化遺産に日常的に接することができるデジタル展示

といった波及効果が考えられる。

2. 研究成果

本プロジェクトは、4つの側面からなるが、ここでは、特に幾何・光学の成果を中心に述べる。

幾何情報取得

文化財の形状データを取得するためには、図2に示すように、距離データ獲得、距離データ間の位置合わせ、距離データの統合という3つのステップが必要になる。データ獲得に関しては、気球に吊り下げた不安定な状態でもデータが収集できる新型の距離センサーの開発に成功した。

距離データはいろいろな方向から得られているためこれらの間の相対関係を定める必要がある。位置関係を求める高性能な位置合わせアルゴリズムを複数開発した。例えば、最近PCによく装備されているグラフィックスカードを有効に利用し、高速に全ての距離データを同時位置合わせするアルゴリズムを開発した。従来アルゴリズムに比して、約1000倍の改善が見られた。

次に、距離データを張り合わせて、対象全体を統一された面からなるモデルに変換する統合処理が必要になる。この操作でも、全ての距離画像を使用して統一面を生成するため、計算機上のデータ量が膨大になる。このため、PC クラスタを用いた並列アルゴリズムとし、さらに適応的な解像度で処理するという2つのアプローチにより、数100枚の距離画像からなるようなカンボジア・バイヨン寺院のモデル面を生成することにも成功している。

光学情報取得

幾何形状だけでは、メディアコンテンツ表現としては不十分である。色や艶といった光学情報も必要である。色情報は、デジタルカメラから得られる。これを、幾何情報の上に重ね合わせる必要がある。キャリブレーション用の箱を用いるものやレーザーセンサーの反射率を利用する手法など新しい重ね合わせ手法を開発した。図3にこの手法でカラー画像を鎌倉大仏の上に張り合わせたものを示す。さらに、写真の色合いは、そのときの太陽光の色に左右される。2枚の時刻を変えてとった写真からその物体の本来の色を出す手法も開発した。

鎌倉大仏のように乱反射する物体は、幾何表現の上に一枚のテクスチャーを張るだけで十分色表現ができる。しかし、美術品の中には、見る方向に応じて、ハイライトの位置が変わり、微妙に色彩が変化するものがある。こういった艶表現を得るため、モデルベース法や固有テクスチャー法といったテクスチャー表現法を開発してきた。その他、図4に示すような透明物体の偏光光による形状決定や図5に示す幾何形状のない場合に有効なマイクロファセット法なども開発した。

上記で説明してきた手法により、文化財をデジタル化し、コンテンツを作成してきた。表1や図6-11に、これまでにコンテンツ化作業を行った文化財の一覧を示す。

デジタル修復

これまで述べて来た手法は、現在存在するものをデジタル化するものである。デジタルデータのもう一つの長所として、本来の文化遺産をいためずに、容易にデジタル的に修復することが可能な点である。我々は、各地の文化財のデジタルデータと文献からデータを修正し、昔の姿を復元することも行っている。例えば、現存する大仏は江戸期の再建であり、天平のものではない。大仏殿も天平のそれとは様式が異なっている。そこで、現存する資料と現在の大仏のデジタルデータから図12に示す天平大仏殿や、図13に示す天平仏の再現にも成功した。

3. 今後の展望

今後は、幾何情報に関しては、現在開発中の移動距離センサーのさらなる性能向上やロバストな形状生成法の開発、光学・環境情報に関しては、太陽光の影響の除去法、時系列情報に関しては、ロボットによる動きの実演を目指している。デジタルコンテンツに関しては、カンボジアのアンコールワット遺跡のデジタル化の完成を目指す。また、デジタル展示等の方向性を発展させ、例えば大仏の地域的変遷や時代的変遷をデジタル的に示す図14のような大仏デジタルライブラリを完成させ、デジタル博物館へと展開したい。

4. 参考文献

全体報告

- [1] K. Ikeuchi and Y. Sato, "Modeling-from-reality," Kluwer Academic, 2001.11
- [2] 池内克史, "文化遺産の高度メディアコンテンツ化のための自動化手法," 画像電子学会誌, Vol. 31, No. 5, pp. 716-721, 2002. 9
- [3] 池内克史, 倉爪亮, 西野恒, 佐川立昌, 大石岳史, 高瀬裕, "The Great Buddha Project -大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化," 日本バーチャルリアリティー学会論文誌, Vol. 7, No. 1, pp. 103-113, 2002. 1
- [4] K. Ikeuchi, "The Great Buddha Project: Modeling Cultural Heritage through Computer Vision Techniques," IEEE/ACM Int. Sym. Mixed and Augmented Reality, Tokyo, 2003.11 (基調講演)
- [5] K. Ikeuchi, "Modeling from Reality," 3rd Int. Conf. 3-D Digital Imaging and Modeling, Quebec City, 2001.5(招待講演)
- [6] K. Ikeuchi, "Modeling-from-reality (the Great Buddha Project)," IEEE Int. Sympo. on Signal Processing and Information Technology, Cairo, 2001.1 (基調講演)(IEEE Distinguished Lecture Series)
- [7] K. Ikeuchi, "Modeling Cultural Heritage through Observation," IEEE/RSJ Intelligent Robot and Systems Conf, Takamatsu, 2000.10 (バンケット講演)

幾何情報処理

- [8] 佐川立昌, 西野恒, 倉爪亮, 池内克史, "大規模観測対象のための幾何形状および光学情報統合システム," 情報処理学会論文誌: コンピュータビジョンとイメージメディア, Vol. 44, No. SIG-12, pp. 41-53, 2003. 4

光学情報処理

- [15] D. Miyazaki, M. Saito, Y. Sato, K. Ikeuchi, "Determining surface orientations of transparent objects based on polarization degree in visible and infrared wavelengths," J. Optical Society of America, Vol. 19, No. 4, pp. 687-694, 2002. 4

環境情報処理

- [24] I. Sato, Y. Sato, K. Ikeuchi, "Illumination from shadows," IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 25-3, pp. 290-300, 2003. 3

時系列情報処理

- [32] K. Ogawara, J. Takamatsu, H. Kimura, K. Ikeuchi, "Extraction of Essential Interactions through Multiple Observation of Human Demonstration," IEEE Trans Industrial Electronics, Vol. 50, No. 4, 2003. 8

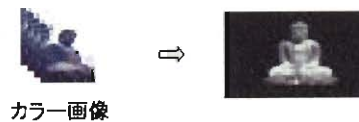
5. 図表・写真

静的解析

幾何情報



光学情報



環境情報



動的解析

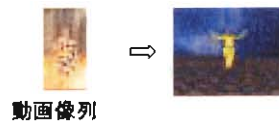


図1 本プロジェクトの4要素

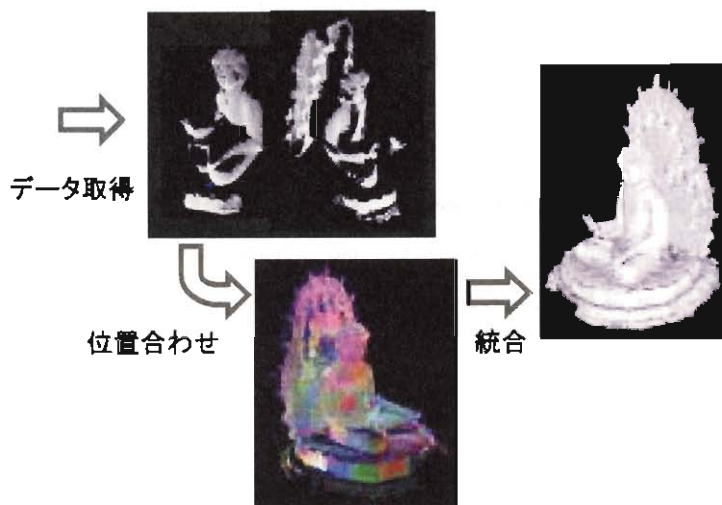


図2 幾何情報取得の3ステップ



図3 テクスチャーマップの結果

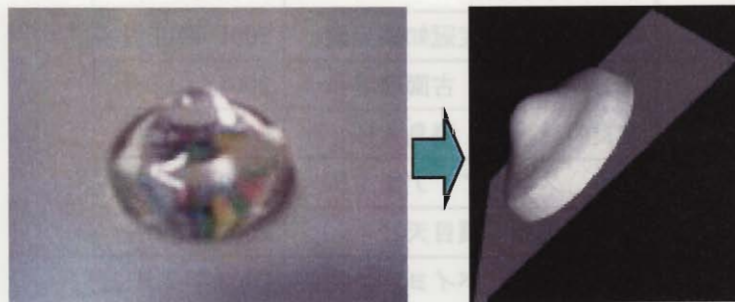
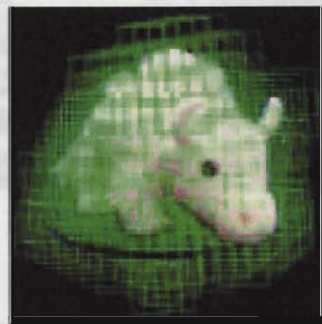


図4 偏光による透明物体の形状決定



(a) ファセット表現



(b) 合成画像

図5 マイクロファセットレンダリング

表1 デジタルコンテンツ化

京都	醍醐寺五重塔	1999年5月
横浜	司教館	1999年5月
鎌倉	高德院 鎌倉大仏	1999年10月
奈良	東大寺 奈良大仏	2000年10月
生産技術研究所六本木校舎		2001年4月
奈良	東大寺 大仏殿	2001年5月
奈良明日香村	石舞台古墳	2001年5月
奈良明日香村	酒船石遺跡	2001年5月
奈良	唐招提寺 金堂	2001年7月
東京大学駒場寮		2001年9月
中国	龍門 宝冠如来坐像	2001年11月
大分県臼杵市	古園磨崖仏	2001年12月
奈良明日香村	飛鳥大仏	2002年2月
タイ	スコタイ アチャ仏	2002年3月
奈良東大寺	項目天	2002年7月
カンボジア	バイヨン寺院	2003年2月
カンボジア	バイヨン寺院	2003年12月

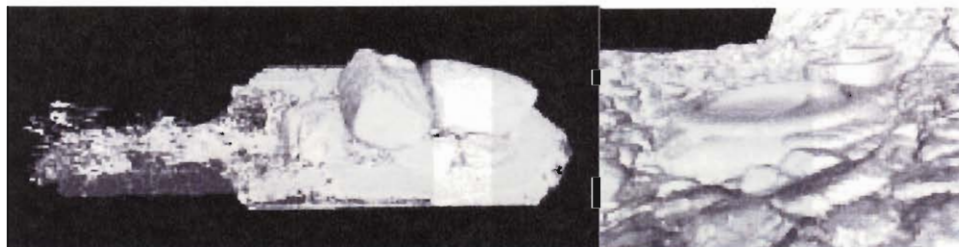


図6 奈良明日香村石舞台古墳 坂船石遺跡

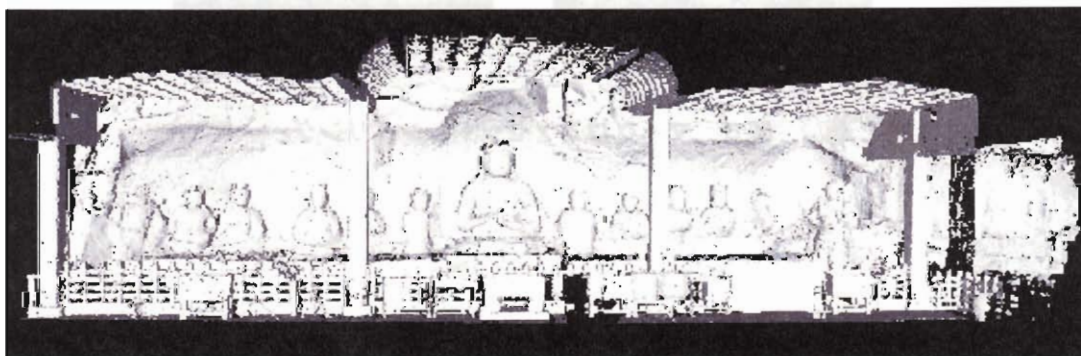


図7 大分県臼杵市古園磨崖仏



飛鳥大仏



鎌倉大仏



奈良大仏

図8 日本の3つの大仏

(アチヤム) (タイスコタイ) (カンボジア)



図9 アチャム (タイスコタイ)



図10 バイヨン尊顔 (カンボジア)

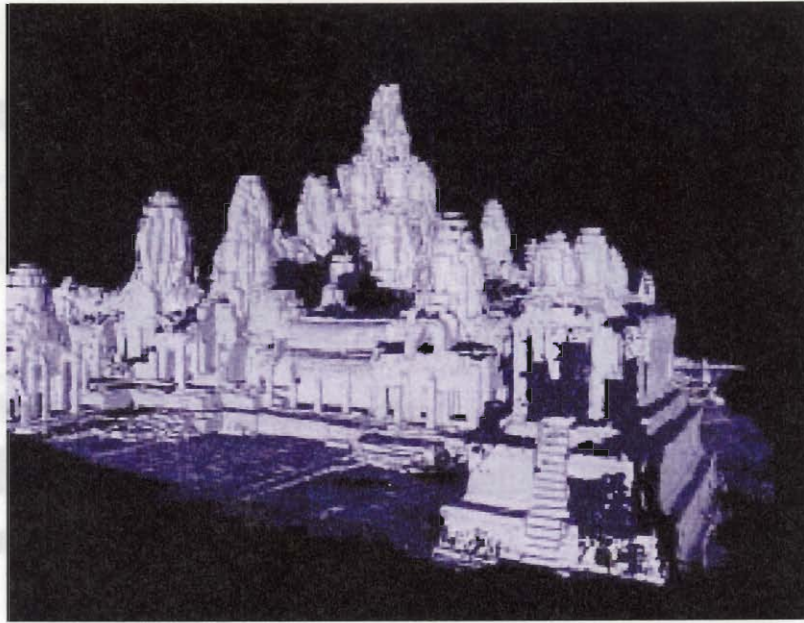


図11 バイヨン寺院 (カンボジア)



図12 天平大仏殿 (復元CG)



図13 天平大仏（復元CG）

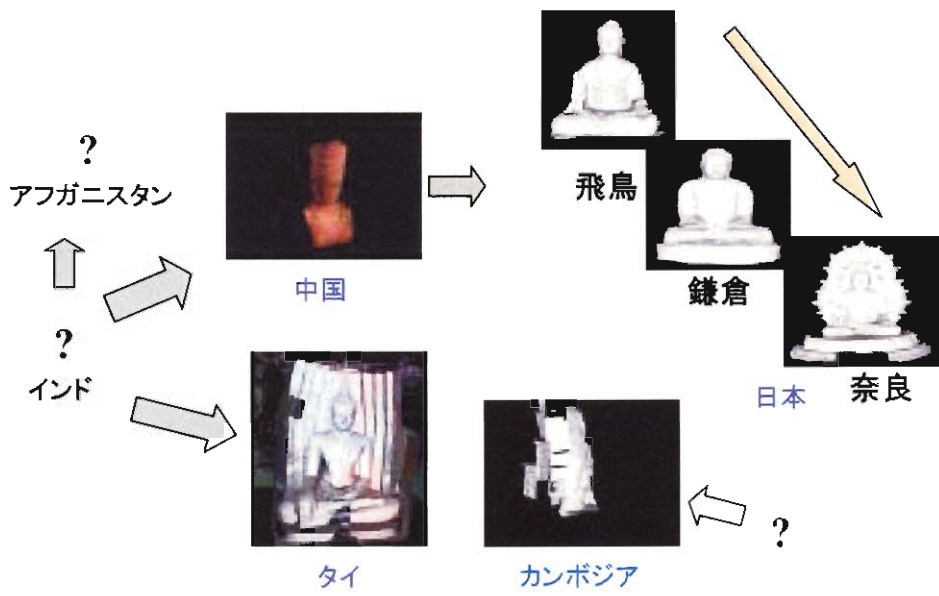


図14 世界大仏デジタルライブラリ