

JST-1

# 観察に基づく文化遺産のデジタル保存 Digital Archive of Cultural Heritage through Observation

池内克史† 中澤篤志‡  
Katsushi IKEUCHI Atsushi NAKAZAWA

## 1. まえがき

我々は、鎌倉大仏や奈良大仏、あるいは唐招提寺金堂などの国宝級歴史的建造物や、人間国宝の卓越した技といった後世に伝えるべき貴重な文化遺産を、近年の電子技術の急激な発達により利用可能となった3次元高精度距離センサや高分解能テレビカメラ等を用いて観測し、その3次元形状や見え、あるいは動きなどの時系列データをデジタルデータとして半永久的に保存する技術を開発している[1,2]。

現在、このような文化遺産のデジタル保存の重要性が一般に広く認識され、実際に一部ではデジタル化が試みられている。しかしこれらの作業の多くはオペレータの手作業により行われているため、一対象のコンテンツ化に多くの時間と労力、多額の費用が必要となっている。このコンテンツ化作業が自動化できれば、より多くの文化遺産を、短期間に安価にデジタルコンテンツ化することが可能となる。そこで我々は、文化遺産のデジタル化作業の自動化手法を確立することを目指し、

- ・ 距離センサやテレビカメラからの部分情報を統合して建造物などの文化財の全体的な3次元形状を得る幾何情報取得の研究
- ・ 色・艶といった文化財の表面反射特性等を得る光学情報取得の研究
- ・ 複合的な見えを生成する文化財建造物や周辺状況の光学条件をモデル化する環境情報取得の研究
- ・ 建造物等の文化財に限らず、人間国宝のような匠の技の保存も目指す時系列情報取得の研究

の4要素について研究を進めており、そのためのセンサ系、処理アルゴリズムの開発、およびデジタルコンテンツのパッケージ化に関する研究を行っている。このプロジェクトの成果により文化遺産のコンテンツ化を進めることで、

- ・ 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高度メディア空間での永久保存
  - ・ 一部失われた文化遺産の高度メディア空間でのデジタル的修復
  - ・ 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、情報弱者の軽減につながり、社会全体に高度な満足が与えられる
- といった社会的に大きな効果が期待される。

研究題目としては、大きく幾何情報取得、光学情報取得、環境情報取得、時系列情報取得に分類できる。以下では、特に前者2つの研究題目の一部について、現在までの研究成果を概要する。さらに、これらの手法により得られたメディアコンテンツについても述べる。

† 東京大学

‡ 東京大学, 科学技術振興事業団

## 2. 幾何情報取得

文化財を各種の方向から観察した場合、これらの情報をつなぎ合わせて、1つの統合的なデータとする必要がある。このため、Fig.1に示すように、距離点群のメッシュ化、メッシュ間の位置合わせ、統合という3つのステップが必要になる。ここでは、位置合わせと統合に関しての新しいアルゴリズムについて説明する。

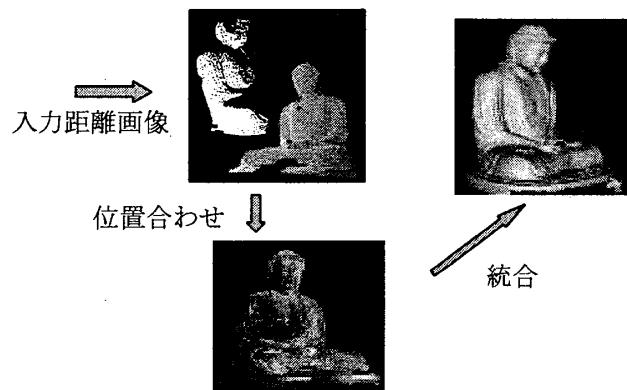


Fig.1 幾何情報取得の流れ

### 2.1 位置合わせ

位置合わせ問題とは、複数枚の距離データが与えられたとき、これから各データの視点の相対位置関係を求めるものである。この問題に対しては従来、ICPをはじめとする各種の手法が提案されてきたが、2-3枚の距離データといった比較的小規模のデータを対象としていた。我々が対象とする文化財では、時には100枚を超えるデータを扱う必要がある。このため、アルゴリズムは高速である必要がある。さらに、通常のICPではペアワイズに位置合わせを行うため、多くの距離画像をつなぎ合わせてゆくためには、位置合わせ操作を繰り返すを行う必要がある。このため、多数のデータを処理するため操作繰り返して行くと、徐々に誤差が蓄積するという問題があった。これらの問題を解決するために、我々は、高速に全ての距離画像を同時に位置合わせするアルゴリズムを開発した[3]。

### 2.2 統合

レンジセンサによって取得した距離データを統合して観測対象全体のモデルを生成する必要がある。これに対して我々は、体積表現法を用いて距離画像を統合する手法を開発している[4]。この体積表現法は、空間をセルに分割する。各セル内で、近傍に存在する点の状況から面がはれた場合のその面からこのセルまでの推定距離を計算し、符号付距離場を得る。この符号付き距離場の中で、ゼロ点を結んでゆくことにより面表現を得る。

大規模な文化遺産を扱うため、我々のグループでは、1. PCクラスタを用いた並列計算、2. 適応的な解像度による

統合処理, という2つのアプローチによる手法を開発し, それらのモデルを生成を可能にした。Fig.2 は得られた奈良大仏の面表現であり, 500万ポリゴンからなっている。これを得るのに16台の並列ペンティアム4のPCクラスターで20分程度であった。



Fig. 2 奈良大仏の三次元幾何モデル

### 3. 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。色とか艶といった見え(光学)の情報が必要であることは結うまでもない。従来の手法は, 幾何表現の上一枚のテクスチャーを張るだけのものが多かった。しかし, 美術品等は, 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。この見えの変化こそが, 美術品の命であり, これを表現することはメディアコンテンツとしては必須である。ここでは, とくに, 偏光を用いた反射パラメータ解析, および透明物体形状推定について概説する[6][7]。

#### 3.1 偏光を用いた各種解析

物体の反射光は, ハイライトと呼ばれる表面反射成分と地の色と呼ばれる内部反射成分からなるものが多い。こういった物体表面の解析のため, 物体の反射光を内部反射成分と表面反射成分に分離し, 各成分ごとに反射パラメータを推定する手法を開発している。以前から, 我々のグループでは, 表面反射成分と内部反射成分の色の違いからこれを行う手法を開発してきた。しかし, 文化財の中には, 白色光源下での白い能面のように, 光源色とおなじような色をもったものも多々存在する。これらを解決するため, 偏光を用いて反射成分分離を行い, 各反射成分ごとに各反射パラメータを推定する手法を開発した。

本手法は, 光源として直線偏光を用いる。直線偏光を照射されると, 物体の表面反射光は偏光したままであるのに対し, 内部反射光は物体内部での散乱により偏光状態がくずれてしまう。すなわち非偏光となる。この現象を利用して, 偏光板を用いることにより物体を撮影, 画像を解析することにより各反射成分ごとの反射パラメータの推定を行った。推定されたパラメータから Fig.3 に示す仮想画像を生成した。

一部の美術品の中には, ペルシャグラスや宝石といった透明な表面を持つものも多い。レーザー光等はこの表面を透過するため, これら透明物体の表面形状を測定する光学的な手法は存在しない。これに対しては物体の偏光特性の解析に基づく, 透明物体の形状を計測する手法を開発している [7]。透明物体の表面にも表面反射成分は存在する。透明物体の表面でも, 表面反射成分は部分偏光する。さら

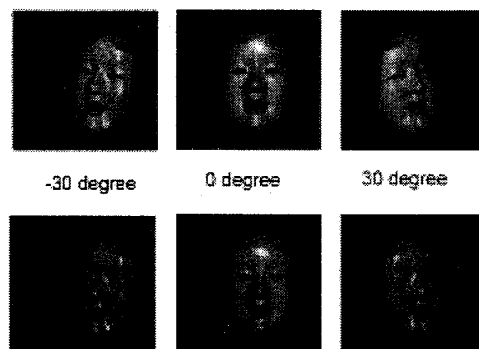


Fig. 3 偏光による表面反射特性の分離とCG生成  
上段: 実画像 下段: 解析により生成された画像

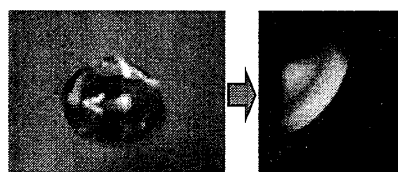


Fig. 4 偏光を用いた透明物体の表面形状の推定

に, この偏光度合いは, 面の傾きに依存関係がある。本手法は, この偏光度合いに基づき, 各部分での面の傾きさらには, 形状を測定する。実際の透明物体に本手法を適用し, 透明物体の表面形状を計測した結果を Fig.4 に示す。左がこの物体の写真であり, 右が得られた物体の表面形状である。

### 6. まとめ

本論文では, 文化財のデジタル化プロジェクトの成果について概要説明した。技術開発項目としては, 幾何情報, 光学情報, 環境情報, 時系列情報の収集手法の開発である。さらにこれらの手法を用いたデジタルコンテンツの生成も行った。今後は, 幾何情報に関しては, 移動距離センサーの開発やロボスタ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, リアルな動きの実演を目指している。また, 国内のみにとどまらず海外の遺跡のデジタルコンテンツ化にも目を向けたいと考えている。

### 参考文献

- [1] K. Ikeuchi and Y. Sato, Modeling from reality, Kluwer Academic, 2001
- [2] 池内 克史 他, "The Great Buddha Project -大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化", 日本VR学会 論文誌, 7(1):pp.103-113,2002.1
- [3] K. Nishino and K. Ikeuchi, "Robust Simultaneous Registration of Multiple Range Images," Proc. 5th ACCV, Jan., 2002
- [4] R. Sagawa, et. Al., "Parallel Processing of Range Data Merging", IROS, 2001.
- [5] Y. Sato, et. Al., "Object shape and reflectance modeling from observation", Proc. SIGGRAPH 97, pp.379-387.
- [6] 高橋 徹 他「偏光による反射成分の分離および反射パラメータの決定」情報処理学会 CVIM 研究報告 2000-CVIM-124.
- [7] D. Miyazaki, et. al, "Determining surface orientations of transparent objects based on polarization degrees in visible and infrared wavelengths," JOSA A 19 (4):687-694, 2002.