

「高度メディア社会の生活情報技術」
平成11年度採択研究代表者

池内 克史

(東京大学 大学院情報学環 教授)

「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」

1. 研究実施の概要（研究年報に掲載し公開）

本研究は、奈良大仏等に代表される静的情報や舞踊等に代表される動的情報等、失われ
てはならない貴重な文化遺産を保存し後世に伝えるため、我々が持つ視覚情報工学の技術
の適用、並びに新たな手法を開発することを目的としている。本研究は近年利用可能にな
った3次元高精度距離センサや高性能テレビカメラなどの最新計測技術を開発や適用、お
よびそれらを取り扱うアルゴリズムの新たな開発により実現される。これらの技術の開発
により、文化財を視覚センサで撮影して物理情報を獲得し、高度メディアシステム上でコ
ンテンツへと自動変換することが可能になる。ここで我々が取り組んでいる研究課題は、
以下のように分類することができる。

(1) 幾何情報取得に関する研究

距離センサやテレビカメラからの部分距離画像を統合し、文化財全体の3次元形状情報を
獲得する技術の開発。

(2) 光学情報取得に関する研究

物体の表面反射特性（色・艶などの見え）を計測、生成する手法の開発。

(3) 環境情報取得に関する研究

物体をとりまく光学的環境情報の取得や、それに基づく見えの生成および得られた文化財
の物理特性を元に、考証等に基づいた古代、将来の姿のシミュレーション技術の開発。

(4) 動き（時系列）情報に関する研究

舞踊等の人の動き情報（無形文化財）の保存や解析、再現等を可能にする技術の開発。

これまで幾何情報取得に関しては、大規模文化財をデジタル保存するという基礎技術を用い、天平時代の国宝東大寺奈良大仏をシミュレーションする試みや、世界遺産タイ・スコタイのデータ取得などの世界的文化遺産のコンテンツ化を行った。また、光学情報並びに環境情報取得に関しては、限られた撮像枚数での表面の反射特性や光源情報を獲得する手法の開発を行った。これにより、文化財の表面色の保存を容易にし、更にこの情報を幾何データに貼り付けることにより、より実物に近いコンピュータ・グラフィックスの生成を可能にした。現在は、研究グループのひとつである東京文化財研究所と協同で九州の

王塚古墳のアーカイブ化や、世界遺産等のデジタル保存の一環としてカンボジア・バイヨン寺院のデータ取得を行ったところである。また、動的情報に関しては、視覚解析技術を元に「見真似によるスキル学習」を実現するために、人の動きを有限の動き要素に分割・分類し、ロボットを用いて再現・提示を行う手法を開発してきた。

今後は、破損した文化財・遺跡の自動的デジタル修復手法の開発、環境・光源色に依存しない表面反射特性の取得手法、および更なる動的情報（舞踊）の解析手法や再現手法の開発などが挙げられる。

2. 研究実施内容

本年度開発した当グループの研究結果を以下に述べる。前述した分類に従い、各項目での開発結果を概説する。

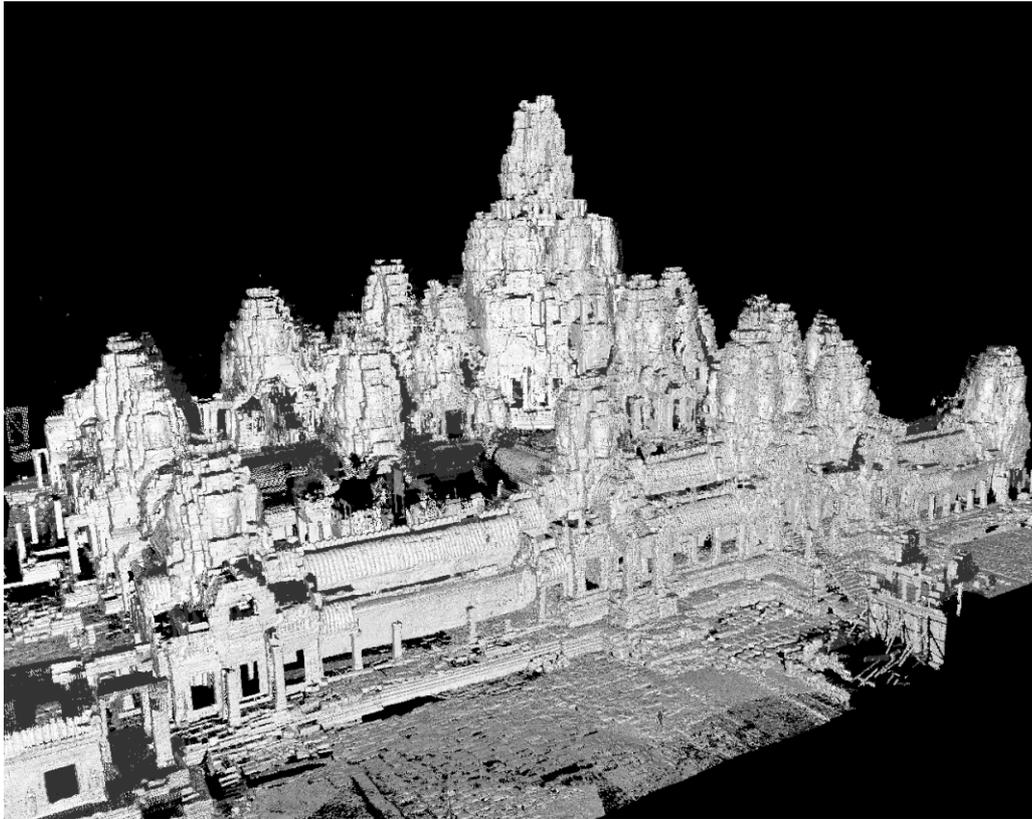
（1）幾何情報取得に関する研究

幾何情報取得に関して、昨年度までには距離センサから得られる部分距離画像を同時位置合わせする手法やそれらの統合手法、表面の情報（テクスチャ）を3次元モデルに張り合わせる自動化手法を開発した。そしてこの手法を、文化財の保存に関して長年に渡って多数の実績を持つ独立行政法人東京文化財研究所との協同で、国宝臼杵磨崖仏（古園石仏）、国宝東大寺戒壇堂四天王像、世界遺産であるパナマ市メルセド教会、タイのスクータイ遺跡（ワット・スリチャム大仏、トラパントラン寺院）、アユタヤ遺跡（マハタート寺院、プラミュン寺院）、中国の龍門遺跡大仏等のデジタルコンテンツ化を行った。

本年度は、世界遺産であるカンボジア・バイヨン寺院の2回目の現地計測を行い、昨年度の計測結果と合わせたデータ処理を進めている。また今回の現地計測では、昨年度は開発途中であった、フライング・レーザ・レンジ・センサを用いて空中からの計測を成功させた。そして、計測中の空中での動きを補正する手法を、ハードウェア・ソフトウェアの両面から取り組んでいる。

また、複数の計測データを合わせることにより、センサの誤差特性を考慮して計測ノイズを除去するリファイメン手法を開発し、バイヨン寺院のデータ処理に用いている。現在は、バイヨン寺院の計測結果から図面の作成を行うソフトウェアの開発や、より大規模なデータを扱うことを可能にするアルゴリズムの検討を行っている。

一方、壁面が彫刻された時の光源のシュミレーションを、昨年度計測した北海道フゴッペ洞窟のデジタルモデルを用いて行っている。このシミュレーションにより、これまで人工光を用いて壁面彫刻を行っていたと考えられていたものが、太陽光の下で彫ることが可能であったことが立証された。



アンコール遺跡 バイヨン



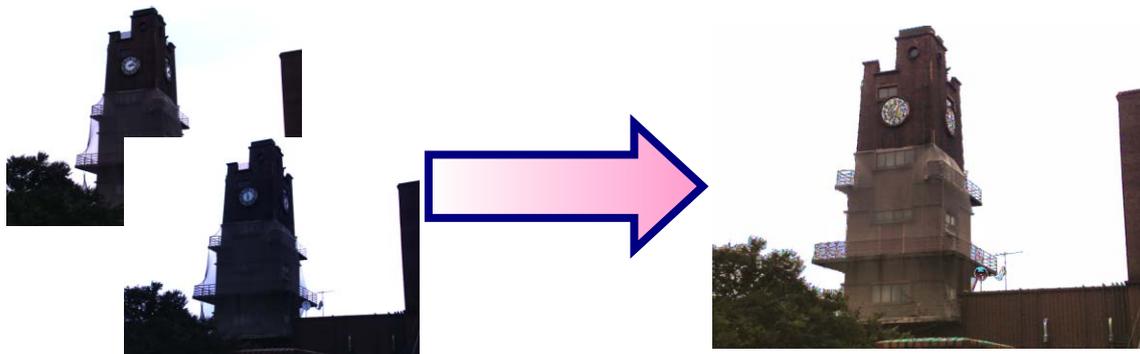
フゴッペ洞窟のデジタルモデル

(2)、(3) 光学情報取得に関する研究、環境情報取得に関する研究

光学情報取得に関しては、様々な光源環境下でレンダリングされた画像データベースをもとに表面反射特性および光源情報の同時取得手法や、与えられた画像から光源色に依存しない物体の真の色を取得する手法などの開発が成果として挙げられる。特に後者の物体色解析には、従来では白色拡散板の画像の取得が必要であり、これを近くに設置できない巨大な文化財の真の物体色の計測が困難であった。しかし我々の提案した手法では、時刻の異なる2枚の画像から光源色に依存しない真の物体色を獲得することができ、文化財の

真の色情報を比較的簡便に取得することが可能となった。このため、幾何情報取得手法と組み合わせることで、文化財の静的特性を保存することが可能となった。

本年度は、これまでに開発してきた手法を用いて、(1)の研究で計測した登録有形文化財・東京大学駒場リサーチキャンパスの時計塔の真の物体色を取得し、表面テクスチャをマッピングすることで、光源色に依存しない真の姿を保存することができた。

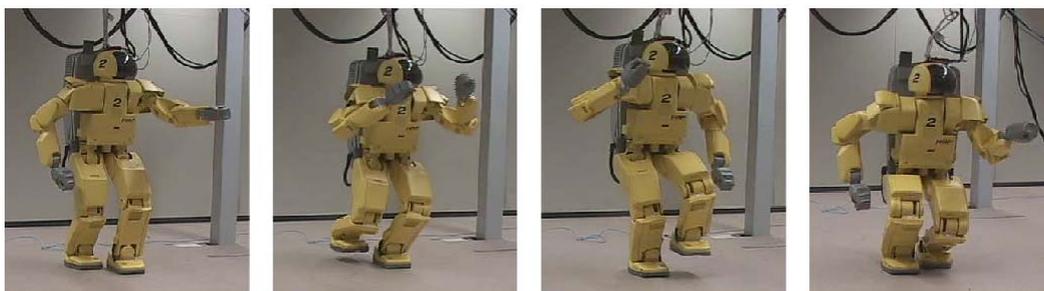


時計塔の真の物体色の取得

また、文化財のシミュレーション技術に関しては、取得した文化財の物理特性を土台にし、考証に基づく文化財の本来の姿の再現、自然現象のシミュレーションによる今後の劣化状態を推測する技術の開発を行っている。今年度は古墳等の立体的な遺跡のデジタルモデルを利用した各種シミュレーションを行い、文化遺産の制作過程の解明や保存に関わる研究等を行った。

(4) 動き（時系列）情報に関する研究

舞踊や匠の技に代表される人の動き（無形文化財）の情報を解析、保存し、それを再現するための総合的技術を開発し発展させている。これまでに、人の動き入力装置（モーションキャプチャ・システム）から得られた舞踊のデータを基に、人の基本動作を取り出す手法の開発、基本動作を連結し新たな動き情報を作り出す技術の開発、ヒューマノイドロボットを用いて舞踏を再現するための基本動作の汎化技術の開発を行ってきた。今年度は、舞踏動作から普遍的な動き成分と個人差や性差に依存する動き成分を分離することによって、本質的な基本動作の抽出と踊り手の個性を考慮した舞踏の記述方法を開発した。同時に伴奏音楽のリズムを解析することによる基本動作抽出手法の精緻化、踏み出しなど瞬間的な激しい全身運動を、ロボットが安定して実行するための動力学モデルの提案、並びにその動力モデルとモーションキャプチャ・データとの比較による妥当性の検証を行った。



ヒューマノイドロボットによる踊りの再現

また、高度な操りをともなう手作業をロボットに獲得させる試みとして、これまでの剛体の動きの解析に加え、ひも結び作業など柔軟物操作の認識や解析、再現等の手法の開発を継続して行っている。特に今年度は、人間の視線運動の計測による直近の注視履歴と動作との因果関係の解析や、作業中変化する物体の把持の方法を連続的に認識、シンボル化するための手法を開発した。すなわち、人間の教示動作を多面的に観測、解析し、そこから作業を進行する上で重要な情報を抽出しシンボル化する手法の開発を進めている。今後は、視線に加え人間の全身運動情報を加味した作業認識、解析による作業のシンボル化、把持遷移を含むロボットによる高度な操りの再現を発展させる予定である。

3. 研究実施体制

幾何・光学・環境グループ

①研究分担グループ長：池内 克史（東京大学 大学院情報学環、教授）

②研究項目：

- ・ 文化財の3次元幾何情報取得に関する研究
- ・ 文化財の表面光学特性取得に関する研究
- ・ 光源環境情報取得に関する研究

時系列グループ

①研究分担グループ長：池内 克史（東京大学 大学院情報学環、教授）

②研究項目：

- ・ 無形文化財（動き情報）の取得、解析に関する研究
- ・ 動き情報の提示手法に関する研究

保存修復グループ

①研究分担グループ長：池内 克史（東京大学 大学院情報学環、教授）

②研究項目：

- ・ 文化財保存修復への3Dデジタル情報の応用

パッケージ・コンテンツグループ

①研究分担グループ長：池内 克史（東京大学 大学院情報学環、教授）

②研究項目：

- ・ 保存された文化財のパッケージ化およびデジタルコンテンツ化に関する研究

4. 主な研究成果の発表（論文発表および特許出願）

(1) 論文（原著論文）発表

- 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, SIG5(CVIM6), pp. 41-53, 2003. 4
- 西野 恒, 池内 克史, 張 正友, 疎な画像列からの光源状況と反射特性の推定, 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, SIG5(CVIM6), pp. 1-10, 2003. 4
- 宮崎 大輔, 池内 克史, 偏光と放物的曲線の解析による透明物体の表面形状計測, 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, SIG9(CVIM7), pp. 86-93, 2003. 7
- 佐藤 いまり, 佐藤 洋一, 池内 克史, 絵画の陰影特徴解析に基づく仮想物体の絵画への重ね込み, 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, SIG9(CVIM7), pp. 132-141, 2003. 7
- 原 健二, Robby T. Tan, 西野 恒, 中澤 篤志, 池内 克史, 単一画像からの光源位置・色と表面反射特性の推定, 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, SIG9(CVIM7), pp. 94-103, 2003. 7
- Koichi OGAWARA, Jun Takamatsu, Hiroshi KIMURA, Katsushi IKEUCHI, Extraction of Essential Interactions Through Multiple Observations of Human Demonstrations, IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 50, No. 4, pp. 667 - 675, 2003. 8
- 山崎 俊太郎, 佐川 立昌, 川崎 洋, 池内 克史, 視点依存の微小面を用いた複雑な表面形状をもつ物体の表示手法, 電子情報通信学会 論文誌D-II, J86-D-II, 10, pp. 1441-1449, 2003. 10
- Tomohito Masuda, Setsuo Imazu, Supatana Auethavekiat, Tsuyoshi Furuya, Kunihiro Kawakami, Katsushi Ikeuchi, Shape difference visualization for ancient bronze mirrors through 3D range images, The Journal of Visualization and Computer Animation, pp. 183-196, 2003. 10
- 小川原 光一, 高松 淳, 木村 浩, 池内 克史, 観察に基づく手作業の獲得における視覚の利用, 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. SIG17(CVIM8), pp. 13-23, 2003. 12
- Koichi OGAWARA, Jun Takamatsu, Hiroshi KIMURA, Katsushi IKEUCHI,

Acquisition of A Symbolic Manipulation Task Model by Attention Point Analysis, Advanced Robotics, vol. 17, No. 10, pp.1073 - 1091, 2003.12

- Daisuke Miyazaki, Masataka Kagesawa, Katsushi Ikeuchi, Transparent Surface Modeling from a Pair of Polarization Images, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.26, No.1, pp.73-82, 2004.1
- Robby T. Tan, Ko Nishino, Katsushi Ikeuchi, Color constancy through inverse-intensity chromaticity space, Optical Society of America, Vol.21, No.302, 2004.3

(2) 特許出願

H15年度特許出願件数：1件（CREST研究期間累積件数：4件）

（外国出願 米国2件、EU1件）