

はじめに

貴重な文化財を後世に残すとともに、広く一般の人々にも利活用してもらうことを目指した文化財デジタル・アーカイブ構築に関する活動は、20年ほど前から行われて来たが、最近の、入力：多機能高精度デジタル化技術、蓄積：大容量記憶装置、公開：高速ネットワーク、などの発展に伴い、多種多様な文化財を対象にその範囲が広がられて来ている。

また、計測技術の進歩によって、高精細化、3次元デジタル化、さらにはX線やマルチスペクトル分光計測などを用いた高精細化が急速に進み、実物のありのままの状態、性質を忠実に記録・保存することが可能となってきた。

下図は、デジタル・アーカイブ化の対象となってきた文化財を、デジタル化技術の難易度を表す指標として、幾何学的特徴と時間的特徴の2つの軸に沿って分類整理したものである。

当初は、デジタル化が最も容易な図左下端にある

(1) 絵画、書、織物など2次元の平面的な静止対象が対象とされてきた。これらの2次元静止対象については、現在の高精細、高精細計測技術によって、かなり完成度の高いデジタル・アーカイブが構築され、一部は商用にも供されるようになってきている。

一方、

(2) 什器など小型の3次元対象



については、3次元コンピュータビジョン技術を利用した各種の3次元形状計測装置が商用化されており、また素材の分光反射特性の計測技術もかなりの精度のものが開発され、ほぼ実用レベルに達してきたと言える。

このため、研究レベルでは、10年ほど以前から

(3) 人物像、

さらには数年前からは

(4) 大仏などより大型な3次元像

を対象としたデジタル化技術の開発が世界各国で進められてきた。

デジタル化する対象の大きさが増加すると、3次元形状計測装置の1回の計測で対象全体を測ることができず、計測装置を移動させながら計測を繰り返すことが必要となる。このため、得られた多数の部分的な3次元形状データを張り合わすという処理が必要となり、対象全体の3次元形状を高精度に求めるには高度なコンピュータビジョン技術の開発が必要となる。

本プロジェクトでは、デジタル化の対象を大仏などよりさらに大型化し

(5) 大規模な大仏殿や宮殿遺跡といった建築物

を対象とした場合のデジタル化技術の開発を1つの研究目標としている。その際には、以下のような技術課題を解決する必要がある。

(I) 大仏と比べ、建築物は単にその大きさが大きいだけでなく、3次元形状の複雑さが大幅に増加する。すなわち、大仏の場合は、元のモデルが人体であるため、比較的凹凸が単純で、計測装置をその周囲にうまく配置すれば対象全体の3次元形状が計測できる。一方、建築物の場合は、塔や複雑に入り組んだ壁面など凹凸の変化が激しく、周囲からの計測ではその複雑な3次元形状をうまく計測することがむずかしい。また、屋根などの計測には、大規模な建築物の上方から計測を行う必要があるが、足場を組むといった大規模工事を行わずに計測できるようにすることが望まれる。これらの問題を解決するには、建物の状況に応じて有効に機能する多様な3次元形状計測装置を開発、利用する必要がある。

(II) デジタル化の対象の大きさが増すにつれ、その3次元形状を表すデータ量が増加し、上記の部分3次元形状データの張り合わせ処理などにおいては、大規模データに対する効率的な処理アルゴリズムや並列処理手法の開発が必要となる。また、(I)で述べたように、異なった種類の3次元距離計測装置を併用すると、異なった装置で得られた3次元形状データの特徴(解像度やS/N比など)が異なり、それらを整合性よく統合するアルゴリズムの開発も必要となる。

(III) 建築物のデジタル化では3次元形状計測装置とカラーカメラによる同時撮影によって、形状と表面色が測られる。その際、建築物の計測が屋外で行われるため、問題が生じる。つまり、3次元形状計測装置による1回の部分形状計測にはある程度の時間がかかり、それを多数回繰り返す内に、太陽の位置や日光の強さが変化し、撮影されたカラー画像の画質が場所ごとに異なってしまふ。それらを整合性よく張り合わせるには、照明条件に依

存しない対象表面の反射特性や各撮影時の日光の特性などを高精度に推定する手法の開発が必要となる。

以上では、デジタル・アーカイブ化の対象となる物体の多次元化(2次元 3次元)大型化(小型 人物サイズ 大型仏像 建築物)という流れに沿って議論を行ってきた。これらの場合、対象は静止しているため、計測装置の位置を変化させて部分撮影を繰り返し、得られた部分データを後で張り合わせれば全体像が求められる。

一方、文化財には、舞踊や職人の技能など人の動作・運動に価値がある無形文化財があり、そうした運動対象のデジタル化には、上記の手法は使えない。

本プロジェクトでは、能や日本舞踊などの無形文化財(先の図では、人間サイズの運動対象)のデジタル・アーカイブ化のための技術開発をもう1つの研究目標としている。

現在無形文化財のデジタル・アーカイブ化としては、(複数の)ビデオカメラを使った映像記録が行われているが、2次元の映像だけでは人間の3次元的な運動や仕草がよく分からず、また異なった人の動作を定量的に比較することもむずかしい。

人間の動きの3次元デジタル化に関しては、10年ほど前からモーション・キャプチャシステムが実用化されており、アニメやSFX映画製作や無形文化財を対象とした運動情報のデジタル化に利用されてきた。しかし、モーション・キャプチャシステムで計測できるのは、人体の関節などに付けられたマーカの3次元運動データであり、踊り手の動きに伴った着物の袖や裾の複雑な動きや、手先や目線の微妙な動きなどは全く計測することはできず、デジタル・アーカイブとしては完全なものとはいえなかった。

本プロジェクトでは、無形文化財のデジタル・アーカイブ化を目指した研究として、踊り手の周囲に多数のビデオカメラを配置し、それらによって撮影された多視点ビデオ映像から、踊り手の姿・形・運動を3次元の実写映像として生成する3次元ビデオに関する技術開発を取り上げ、以下の課題に関する研究を行っている。

- (I) 多視点ビデオ撮影システムの開発。踊り手の3次元形状を高精度に計測するには、多数のカメラの相互位置関係やレンズ系のパラメータを高精度にキャリブレーションする必要がある。
- (II) 広範囲を移動する人物の自動追跡や、複数人物による踊りの撮影では、どのカメラがどの人物を撮影するのかといったカメラ制御の問題があり、カメラ割り当てアルゴリズムやカメラの運動情報も高精度に計測できるメカニズムが必要となる。
- (III) デジタル・アーカイブとしての利用に耐えうるレベルの高精細な3次元ビデオを生成するには、着物のしわや重なり具合、手の動作などを高精度に3次元計測する必要があり、また、それらの微妙な動きを捉えるには時間的にも高精度化が必要である。
- (IV) 能や歌舞伎では照明によって様々な演出がなされており、複雑な照明環境の推定アルゴリズムの開発が必要となる。また、着物の柄や艶といった対象の表面特性に関しても高精度な計測が必要となる。
- (V) 生成された3次元ビデオを鑑賞するには、視聴者がその場で自由に視点を

変化させて映像を見ることができるインタラクティブな表示機能が不可欠で、そのための表示ソフトウェアの開発が必要となる。

- (VI) 3次元ビデオのデータ量は従来の2次元ビデオと比べて膨大なものとなり、その蓄積や配信のためには、高効率なデータ圧縮アルゴリズムの開発が必要となる。

以上述べたように、本プロジェクトでは、日本舞踊など、3次元形状が時間とともに複雑に変化をする人物サイズの運動対象を対象とし、ある程度の範囲で対象が移動しても、カメラの自動追尾撮影によって映像化ができるようなシステムを開発することによって、無形文化財の高精度デジタル化を実現することを目指している。

一方、先の図に示したように、より一般的な観点から運動対象のデジタル・アーカイブ化を眺めてみると、以下のような多様な状況が考えられ、それぞれの対象・状況の特性に合わせた計測技術の開発が別途必要となる。

- ・ サッカーや野球などのスポーツでは、運動範囲が非常に広く、広範囲を移動する対象の3次元像を高精度に計測する問題。さらに、自動車レースなどでは、運動スピードの高速化が加わる。
- ・ 一方、対象の大きさが小さい場合としては、
 - 動物や昆虫の3次元生態記録
 - プラクトンなどの3次元行動記録
 - 発生学における細胞分裂の進展記録などがある。

本報告書は、大型有形・無形文化財のデジタル・アーカイブ化ソフトウェアの開発に関して、平成16年度、17年度の2年間において得られた成果をまとめたもので、両分野において初期の計画を上回る成果が得られている。また、資料として記載しているように、その成果は、新聞、テレビなどのマスコミからの注目度も高く、社会的にも高く評価されている。さらに、本プロジェクトで開発したソフトウェアの幾つかは、企業へライセンスされ、実用化を目指した開発に利用されており、産業界からもその有用性について高い評価を得ている。

本プロジェクトによって、文化財のデジタル・アーカイブ構築活動がより一層推進されるとともに、開発したソフトウェアがより広範な応用分野に利用されるようになれば幸いである。

2006年2月

プロジェクト・リーダー
松山 隆司（京都大学）

サブリーダー
池内 克史（東京大学）