



# 考古学プロジェクトにおける 3D デジタルアーカイブのための AR インタフェース

松下亮介<sup>1)3)</sup>, 肥後時尚<sup>2)3)</sup>, 吹田浩<sup>2)3)</sup>, 安室喜弘<sup>1)3)</sup>

1) 関西大学 理工学研究科 (〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

2) 関西大学 文学研究科 (〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

3) 国際文化財・文化研究センター (〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

概要: 古代文化財の保存や修復, 活用方法における学術研究では, 考古学をはじめとする多分野の専門家による共同活動と情報共有が必要となる. 本稿では, 3次元計測に基づいて現場を再現した仮想空間において, 任意の場所に関連付けて情報を蓄積し共有することが可能なデータベースをウェブアプリケーションとして構築し, さらに, 現場での利用を想定した AR (Augmented Reality) によるユーザインタフェースを提案する.

キーワード: AR, WebGL, データベース, デジタルミュージアム

## 1. はじめに

考古学分野の研究プロジェクトでは現場での調査や修復作業を行うにあたり, 多様な分野での連携が不可欠である. 関西大学の CHC (Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture: 国際文化財・文化研究センター) では古代エジプト時代の文化財を主な対象として, 保存や修復, 保全や活用方法について研究を行っている. 対象現場の一つにエジプトのサッカラ地方にあるイドウトのマスタバ墓がある. このマスタバ墓は, 歴史的遺産として著名であるだけでなく, 地下の埋葬室で発見された壁画 (紀元前 2360 年頃) は, 芸術的価値においても注目を集めており, その劣化分析や修復技術開発, 現場の地盤強化から保全計画, 学術情報の蓄積と公開などについて, エジプト学者や現代エジプト社会の他, 文化財修復, 人文学, 地盤・建築工学, 分析化学, 微生物学, 高分子化学, 情報工学などの研究者が, 日本, エジプト, ポーランドから参加し進められている [1]. しかしながら, 専門分野や国籍を跨いだ横断的な連携を日常的に継続することは難しく, また昨今の現地の情勢不安も重なり, 円滑な議論や調査・研究情報の共有の持続的な取り組み方が模索されている. また, 世界的に貴重な文化遺産が, 政治不安による暴動や組織的暴力の脅威下に晒されている現実もあり, 政治的解決が望まれる一方で, 現場保全や調査記録アーカイブの重要性が増々高まっている. そこで筆者らはインターネットを介してアクセスできるイドウトのマスタバ墓の仮想的な 3次元の現場空間を構築し, 仮想空間内の場所に関連付けた情報の共有と, 持続的かつ非同期な情報更新を可能にするウェブアプリケーションを開発している [2][3]. 異分野・異文化間での取り組みや情報の

やり取りにおいて, 現場をコピーした 3次元仮想空間を媒体とすることにより円滑化し, またウェブアプリケーションで実装することにより, ウェブブラウザだけで協働環境が整うことを目指している. 本稿ではこの既存デジタルアーカイブシステムを拡張し, タブレット端末等で撮影した映像を介して現地からシステムのデータベースへとアクセスする AR インタフェースを提案し, アーカイブの利便性を現場に持ち込める手段として確立することを目指す.

## 2. 関連研究

近年では文化財の保護, 復元, 記録, 研究支援といった学術的な分野での 3次元計測やモデリング技術の活用が活発になっている [4]. Neto らによる Monserrate Palace in Sintra の没入型文化体験アプリケーション [5] や Ruggiero らによる SANTA MARIA PATIRION'S CHURCH のプロジェクト [6] では, 文化財への理解を助けるための仕組みとして, ガイダンスを受けながら文化財の 3次元モデル内を探索するインタラクティブなアプリケーションの開発が行われている. 一方で遺構の 3次元モデルを活用した情報管理の側面では, バイヨン寺院のデジタルアーカイブプロジェクトにおいて岡本により, 遺跡の劣化状況や修復状況を管理するために, 3次元モデルの特徴的な形状部分に情報を関連付けて蓄積するシステムが提案されている [7]. このシステムは情報を関連付ける領域を指定する際に, 形状の特徴から半自動的に関心領域の選択を行うことができる機能を備えている.

これらは, プロジェクトのまとまった成果報告としての情報公開や提示方法として想定された方法論であるが, 多様なユーザやメンバーを含む進行中のプロジェクトにおける情報マネジメントとしての利用は想定されていない.

### 3. 提案手法

#### 3.1 提案システムの概要

本稿では当プロジェクトで開発されたデジタルアーカイブシステムは現場の遺構を再現した仮想空間中の任意領域に関連付けた情報の共有が行える。このシステムはウェブアプリケーションとして実装されているため、モバイル端末でもデスクトップ PC と同様に利用でき、現場に持ち込むことも可能である。しかし、現場から、現場のコピーである仮想世界にアクセスするには、実写像に仮想空間を自動的に重ねあわせるのが自然な利用方法であり、また、現物に貼付されているかのようにメモを参照したり、新たにを貼付したりする感覚でデータベースにアクセス出来れば、有用な活用形態であると考えた。以降の節ではデジタルアーカイブシステムの概略とその拡張としての AR インタフェースの特徴について述べる。

#### 3.2 アーカイブシステム

本プロジェクトで開発しているアーカイブシステムでは、インターネットを介してアクセスできる遺構の仮想 3 次元空間を実測にもとづいて構築し、空間内部の任意の関心領域（以下 ROI(Region of Interest) と呼ぶ）に関連付けた情報の共有と、持続的かつ非同期的な更新が可能なデータベースシステムである。ウェブアプリケーションと連携したデータベースには ROI の座標値を格納するテーブルと ROI に関連する情報を管理するテーブルを登録している。クライアントサイドでは WebGL による遺構の 3 次元モデル（図 1）と ROI の描画を行い、ユーザによる ROI の選択をトリガーとして、ajax 通信により選択された ROI の情報をサーバへと送信し、データベースから返された関連情報を表示させる。情報登録時には ROI の情報に加えてアップロードするファイルと付随するメタ情報もサーバへと送信する。図 2（上）は画像中央の赤い線で囲まれた ROI に関連する情報を閲覧している様子を、図 2（下）は緑の線で囲まれた ROI に対して関連する情報を登録するフォームの入力を行っている様子を示している。

システムで使用する遺構の 3 次元モデル（図 1）はレーザーキャナ（LMS Z420i：リーグル社製）を用いた 3 次元計測で得られた点群データを元に作成した [3]。ネットワークを介した利用を目的とするため、対象の形状を損なわない範囲で極力メッシュ数を抑え、デジタルカメラで撮影した画像から作成した UV テクスチャをマッピングした。

また、このシステムでは「プロジェクトメンバー」「一般ユーザ」「プロジェクト外の専門家」という 3 つのユーザタイプを定義している。アクセス時に選択したユーザタイプが閲覧対象とされている情報の関連づいた ROI のみをデータベースから読み込むことで、閲覧性の制御を行っている。ユーザタイプに応じた機能構成により、本システム単体で、観光用の仮想ツアーガイドシステムや研究公開用ポータル、プロジェクトメンバー間のコミュニケーションツールといった役割を併せもつことができる。



図 1: 遺構の 3 D モデル

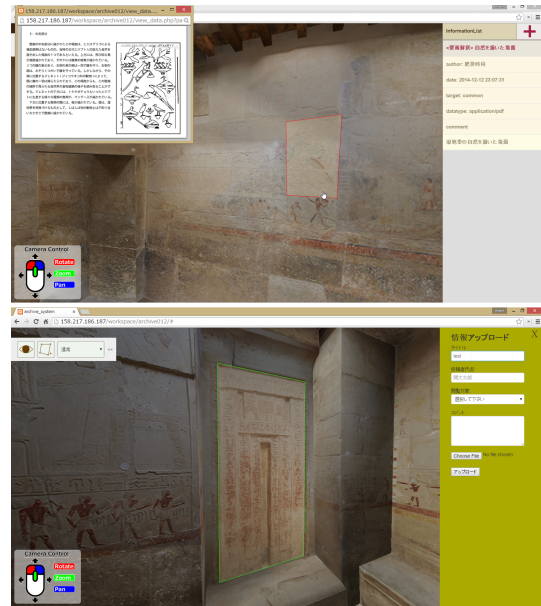


図 2: アーカイブシステムの動作画面

#### 3.3 AR インタフェース

本プロジェクトでの現場対象は石造りの遺構内部であることから GPS 等の利用が難しく、さらに保全や運用の観点から対象に手を加えることが難しいため、ビジョンベースでマーカーレス型の AR 手法が望ましい。マーカーレス型の AR インタフェースを実現するには、モバイル端末で撮影された画像の特徴から、アーカイブシステムの仮想空間の座標系（以下システム座標系と呼ぶ）における端末の位置・姿勢（カメラパラメータ）の推定を行う必要がある。この処理を媒介するために、対象の遺構内部を撮影した複数枚の画像を用いた SfM(Structure from Motion) 処理 [8][9] によって、新しく生成した座標系（以下 SfM 座標系と呼ぶ）における遺構の 3 次元点群とそれに対応する特徴点情報を持つ画像群を事前に作成する。加えて、作成した遺構の 3 次元点群とアーカイブシステムの 3 次元モデル間で対応点を指定した位置合わせを行うことで、システム座標系と SfM 座標系の相互変換を行う行列を取得する。これらの事前処理により、モバイル端末で撮影された画像と SfM に使用した画像との特徴点对応から、撮影画像の 2 次元特徴点と対応する 3 次元点が求まるので、P NP 問題を解くことで

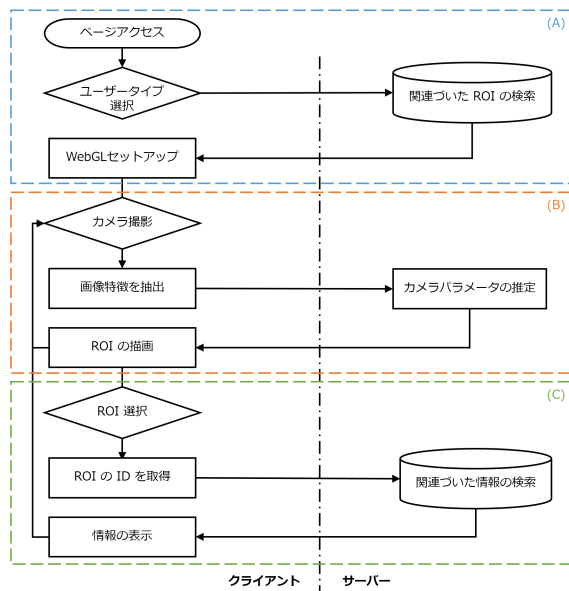


図 3: システム全体のアルゴリズム

システム座標系におけるカメラパラメータを求めることができる。

図 3 に AR インタフェースを組み込んだアーカイブシステムの処理フロー図を示している。図 3 中の (A)(C) は前節で述べたアーカイブシステムと共通している処理、(B) は AR インタフェースのために新たに追加した処理である。(A) では前述の通り、選択したユーザタイプを閲覧対象とする情報の関連付いた ROI をデータベースから取り出し、WebGL においてオブジェクトの生成を行う。(B) においては、撮影した画像の特徴抽出を行い、サーバサイドで前述の事前処理で作成したデータを利用したカメラの外部パラメータの推定を行う。図 4 にカメラパラメータ推定の処理フローを示しているが、撮影画像と事前に SfM 処理を行った画像との特徴点対応から取得できる撮影画像の特徴点と対応する 3 次元点のリストを用いて、P-NP 問題を解くことでカメラパラメータを推定している。次に結果として返されるカメラの外部パラメータを用いて、(A) でセットアップした ROI を含むシーンのレンダリングを行う。この時、別途撮影画像を含むシーンでも平行投影によるレンダリングを行い、ROI を含むシーンの背景として描画することで、撮影画像上に ROI を重ねた AR 表現を実現する。(C) においても前節で述べたとおり、ROI の選択をトリガーとして、ajax 通信により選択された ROI の情報をサーバへと送信し、データベースから返された関連情報を表示させる。

#### 4. 実装

AR インタフェースの実装にあたって、ここではアーカイブシステムのユーザタイプとして新たに「現地ユーザ」を定義し、ページアクセス時に選択することで利用できるものとした(図 3(A))。「現地ユーザ」で利用できる機能として、今回は一般向け情報の閲覧のみの実装を行う。

図 3(B) の処理に関して、本稿では、対象をスマートフォ

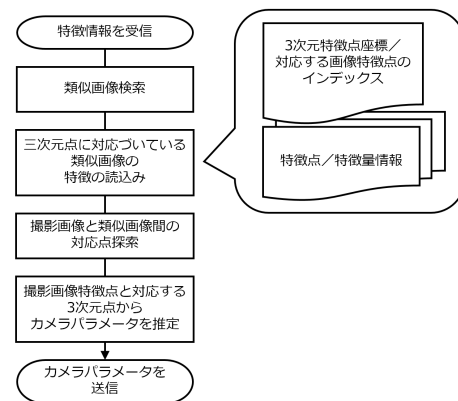


図 4: カメラパラメータ推定のアルゴリズム

ン(Nexus5)で撮影した画像を入力として、ローカルの統合開発環境上で手動で実行し、求めたカメラパラメータを用いたブラウザ上での描画を行った。言語は C++ を使用しており、特徴抽出等の画像処理の実装には OpenCV を利用した。事前処理の SfM には VisualSfM[11] を使用している。カメラパラメータの推定において、事前に SfM 処理を行った画像と撮影画像との特徴点対応を求めるのに、両者で同一の特徴記述方式を利用する必要があるため、VisualSfM では OpenCV で抽出した SURF 特徴を用いた SfM 処理を行った。また AR インタフェースを利用する端末のカメラ内部パラメータは事前にキャリブレーションを行い取得しているものとした。図 5(上)にスマートフォンでの AR インタフェースの動作画面、図 5(下)にデスクトップ PC で実行したアーカイブシステムの仮想空間で同じシーンを表示した様子を示している。図 5 から AR インタフェースにおいて、アーカイブシステムの仮想空間で作成された ROI が撮影画像上に正確に重畳されることを確認できたまた図 6 に示すように、スマートフォンの AR インタフェースからもデスクトップ版のアーカイブシステムと同様に ROI に関連する情報を閲覧できることを確認した。

#### 5. 考察

現状の実装では、単体の画像を入力としているものの、ROI の選択に支障が無い精度で AR 表示が可能であることが分かった。提案した AR インタフェースによって、観光者らが各自のモバイル端末から遺構の観光情報を直感的に閲覧することができ、遺構の観光資産としての価値を向上させることが出来ると思う。また、提案システムは既にプロジェクトで運用されているデジタルアーカイブシステムの枠組みの中で実現しているため、提案システムのために新たに情報の登録などを行う必要がなく、情報の持続的な更新も容易に行うことができる。さらに、提案した AR インタフェースでは現場への機材の設置等を必要としないため、現地での運用上のトラブルもないと考える。本稿では AR インタフェースの機能として一般向け情報の閲覧のみとしたが、今後モバイルでのユーザタイプも追加していくことで、現地調査によって得られた情報の蓄積・共有・更

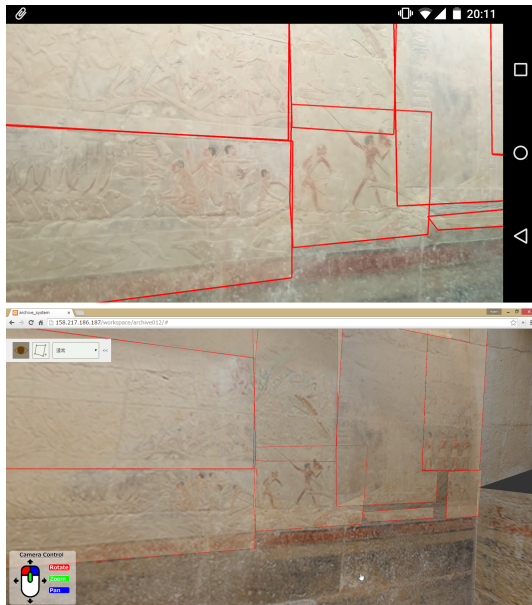


図 5: AR インタフェース (上) と既存アーカイブシステム (下)

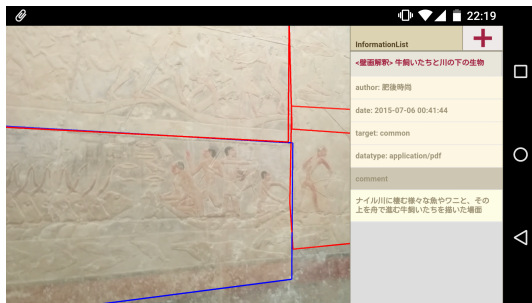


図 6: ROI に関連づいた情報の閲覧

新をより円滑にすることができると思う。

今後はローカルの統合開発環境上で動作させた処理をウェブアプリケーションの枠組みへと組み込み、現地での実用試験を経て、動画像への対応、処理速度、精度の向上に取り組む。このためには、サーバサイドでの処理は Visual Studio でビルドした実行ファイルを PHP から呼び出す構成とする。クライアントサイドでは、Chrome でのネイティブ実行環境を提供する PNaCl (Portable Native Client) [12] 向けに書かれたアプリケーションを汎用の JavaScript として動作させるための、pepper.js の利用を検討する。

## 6. おわりに

本稿では、CHC での情報共有の枠組みとして運用されているデジタルアーカイブシステムの新たな活用方法として、現地でのシステムの利用を想定し、モバイル端末で撮影した映像を介して、既存の 3D データベースへのアクセスを可能にする AR インタフェースを提案した。また、ローカルの統合開発環境上で提案システムの実現性を確認した。今後の取り組みとしては、提案システムのウェブアプリケーションとしての枠組みを完成させ、現地での実用試験に基づいて機能性を検証することが主眼となる。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「国際的な文化財活用方法の総合的研究」および、独立行政法人日本学術振興会 科学研究費補助金 (15H02983) の助成による。

## 参考文献

- [1] 吹田浩: エジプト国イドウートの地下埋葬室の修復 2005 年～2009 年, 住友財団報告書, 2010.
- [2] 松下亮介, 安室喜弘, 吹田浩, 肥後尚弘: 考古学プロジェクトにおけるデジタルアーカイブのための 3D Web ポータル, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, Vol. 2014, No 3, pp. 139-144.
- [3] Ryosuke M, Yoshihiro Y, Hiroshi S: Digital Archive System with 3D Web Portal Interface, Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection, Lecture Notes in Computer Science Vol. 8740, 2014, pp 564-571
- [4] Lo Brutto M: Computer Vision Tools for 3D Modeling in Archaeology, International Journal of Heritage in the Digital Era, Vol. 1, Supplement 1, pp. 1-6, 2012.
- [5] Joo Nuno Neto, Maria Joo Neto: Immersive cultural experience through innovative multimedia applications, International Journal of Heritage in the Digital Era, Vol. 1, Supplement 1, pp. 101-106, 2012.
- [6] Ruggiero C, Gallo A, Lio A, Zappani A, Fourunato G, Muzzupappa M: An Integrated Methodology for Digitization, Survey and Visualization of Santa Maria Patirion's Church, International Journal of Heritage in the Digital Era, Vol. 1, Supplement 1, pp. 21-26, 2012.
- [7] Yasuhide Okamoto, Takeshi Oishi, Katsushi Ikeuchi: Interactive Information Sharing System using Large 3D Geometric Models, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 2010-CVIM-172, No 35, pp. 1-16, 2010.
- [8] Hartley R, Zisserman A: Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004.
- [9] 満上育久: 私の研究開発ツール第 46 回 Bundler Structure from Motion for Unordered Image Collections, 映像情報メディア学会誌, Vol. 65, pp. 479-482, 2011.
- [10] 古賀久志: ハッシュを用いた類似検索技術とその応用, 電子情報通信学会 基礎・境界ソサイエティ, Fundamentals Review Vol. 7, No. 3, pp. 256-268, 2014.
- [11] Changchang Wu: Towards Linear-Time Incremental Structure from Motion, 3DV '13 Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision, IEEE Computer Society, pp. 127-134, 2013
- [12] Google Inc.: Native Client - Technical Overview, <https://developer.chrome.com/native-client/overview> (2015-07-10 アクセス)