

城跡と古道及び周辺地形の3D可視化アプリの開発 Developing a Web-Based 3D Visualization Tool for Castle Ruins, Historical Roads, and the Surrounding Landscape

有銘 真之助[†] 赤嶺 有平[‡] 根路銘 もえ子[§]
Shinnosuke Arime Yuhei Akamine Moeko Nerome

1. はじめに

沖縄県には「グスク(城跡)」をはじめとする多くの文化的遺産が各地に点在している。これらの遺産は建造物としての価値にとどまらず、周囲の自然地形や当時の交通網(古道)との関係性においても高い歴史的・文化的意義を有している。しかし、こうした空間的な関係性を視覚的に理解する手段は限られており、特に一般の観光客や教育現場においては、テキストや写真だけではその構造や位置関係を十分に把握することが困難である。

筆者らはこれまでに、グスクや史跡の立体構造を3Dモデルとして可視化し、Webブラウザ上で閲覧可能なアプリケーション開発を行っている。これにより、文化遺産の立体的な特徴を直感的に理解するための環境を提供できていると考える。一方で、古道とその周辺に点在する史跡群との空間的・歴史的な関係性を体系的に整理・提示するためには、より柔軟かつ効率的なデータベースの構築手法が求められる。

本研究では、以下の3点を主な目的とする：

1. グスクや古道の3Dモデルと地形データ、周辺の史跡情報を統合し、古道と史跡群の空間的関係を扱うデータベースの効率的な構築手法の開発。
2. データベースに構築した史跡群の情報を、ユーザが直感的に把握できる形で表示するWebブラウザ向けUIの開発。
3. 360度カメラによる地上からの撮影画像を用いて、フォトグラメトリによる3Dモデルを作成する工程の有効性と課題の検証。

これらの取り組みにより、文化遺産の理解と活用を支援する新たな手法の確立を目指す。

2. 関連研究

2.1 屋外歴史的建造物の空間的関係を可視化するデジタル表現手法の開発

沖縄県の史跡を対象として、史跡の三次元表示および史跡間の地理的関係を可視化するWebアプリケーションの開発を行っている。史跡の三次元モデルは、写真測量に基づく処理によって生成した。まず、複数の画像間で特徴点を検出・対応付けし、それに基づいてカメラの位置と対象の構造を推定して疎な点群を作成した。この工程にはOpenMVGを使用している。さらに、得られた情報をもとに密な点群を生成し、そこからメッシュ構造の再構成およびテクスチャマッピングを行うことで、高精度な3Dモデルを作成した。この一連の工程にはOpenMVSを用いている。作成した3次元モデルは、国土地理院が提供する衛星写真および数値標高モデルに基づく周辺地形とCesiumJSを用いてシームレスに結合・表示可能なWebアプリケーションとして実装した[1]。

3. 提案システム

本研究では、先行研究にて開発された、フォトグラメトリにより生成された史跡の3Dモデルと、国土地理院が提供する数値標高モデルや衛星写真などの地形データを統合し、Webブラウザ上で可視化するシステムを基盤とする。この基盤に対して、以下の機能とデータ統合を新たにを行った：

- ・古道周辺の史跡に関する独自データベースの構築と統合
- ・新たに撮影・生成したグスクおよび古道の3Dモデルの追加

・史跡情報へのアクセス性を高めるための直感的なユーザーインターフェースの実装

3.1 ソフトウェア構成

本システムは、史跡等の撮影画像から3Dモデルを生成する部分と、史跡情報を統合管理するデータベース、及びそれらをWebブラウザ上で表示可能にするCesiumJSベースのViewerにより構成される。図1に可視化システムのソフトウェア構成を示すとともに、本稿にて新たに追加した工程や要素については、図中で赤枠により強調している。

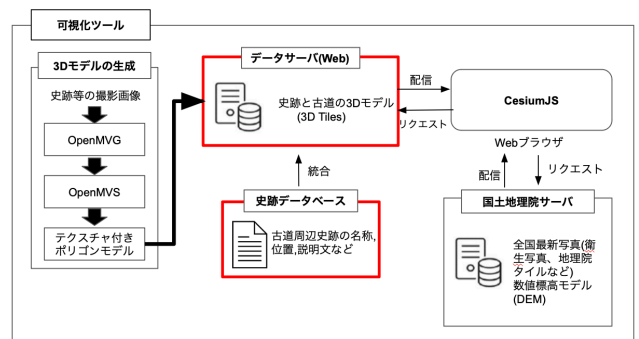


図1: 提案システム構成

3.2 3Dモデルの生成

本研究では、グスク(城跡)や古道などの広範囲かつ起伏の激しい野外文化財を対象に、高精細な3Dモデルの作成を行った。これらの対象は撮影が困難であるため、1枚ずつ静止画を撮影する従来の方法では作業効率が低い。そこで、360度カメラによる動画撮影を行い、動画からフレームを抽出して静止画群を得る手法を採用した。撮影した静止画群に対しては、Structure from Motion (SfM) 技術を用い、複数画像間の特徴点を検出・マッチングしカメラ位置を推定することで、対象物の三次元構造の推定を行った。OpenMVGを用いてこのSfM処理を行い、続いてOpenMVSにより密な点群生成とメッシュ再構成、テクスチャマッピングを実施し、高精細な3Dモデルを自動生成した。この一連の処理において、史跡全体を一括でモデル化しようとすると膨大なメモリを消費し、処理が停止する問題が発生した。そこで本研究では、対象を複数の領域に分割し、それぞれを個別に処理して3Dモデルを作成した後、最終的に統合する方式をとった。また、画像サイズの縮小、一部フレームの除外といった前処理も施し、処理負荷の軽減を図った。

生成された3Dモデルは、MeshLabやBlenderを用いて不要部分の削除やメッシュの簡素化、形状調整を行い、軽量化および表現の最適化を図った。編集後のモデルはglTF形式に変換し、Webブラウザ上でのリアルタイム表示に適した状態に整えた。この形式はCesiumとの親和性が高く、ユーザが直感的に操作できる3D可視化を可能にする。図2に、3Dモデルの編集作業の様子を示す。

[†]琉球大学理工学研究所 Graduate School of Engineering and Science, Ryukyu University

[‡]琉球大学工学部 Faculty of Engineering, Ryukyu University

[§]沖縄国際大学経済学部 College of Economics and Environmental Policy, Okinawa International University

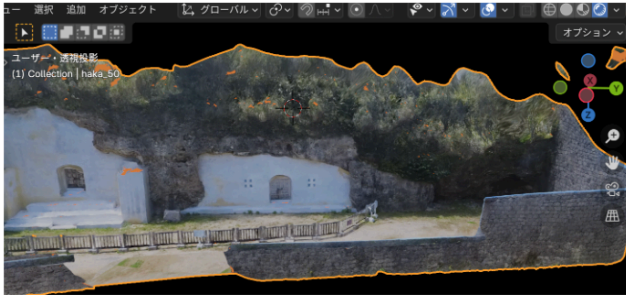


図2: 3Dモデル編集作業の様子



図4: アプリ上の3Dモデルの様子

3.3 史跡データベースの構築

古道周辺に存在する史跡の情報を収集・整理する際の大きな課題として、既存の文献資料や自治体資料が多岐にわたり分散しており、情報の網羅的収集とデータベース化に高い労力が伴う点が挙げられる。そこで、本研究では、開発した史跡データベース構築支援システムを活用し、Google Maps Platformの特性を活かして効率的な情報収集を行った。

このシステムでは、Googleが提供するNearby Search APIを用いて、古道沿いに存在する史跡を自動的に取得し、それらを史跡候補としてGoogle Map上に表示する機能を備えている。APIの規約により、取得データを直接データベースに保存することはできないが、取得結果を参照しながら、地点ごとの史跡の有無や名称、位置情報を手動で検証・整理することで、独自の史跡データベースを構築した。

構築されたデータベースは、名称、緯度経度、簡易な歴史解説などの属性を持ち、基盤となるWebアプリケーションと連携可能なGeoJSON形式で整備されている。史跡データベース構築の流れを図3に示す。

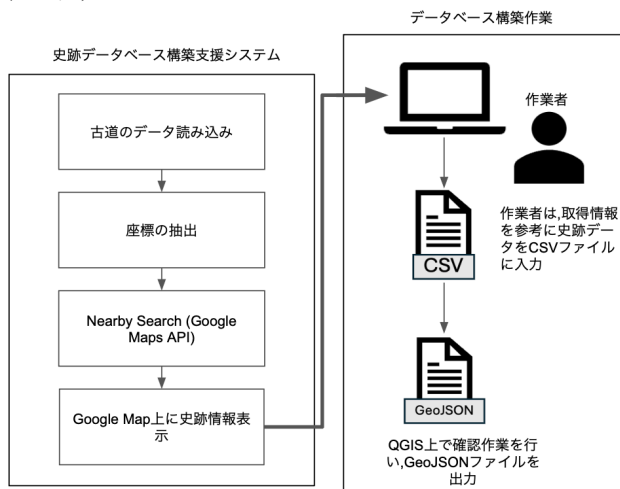


図3: 史跡データベース構築の流れ

3.4 Webアプリケーションへの統合

作成した3DモデルはCesiumの3Dタイルとして地形データ上に重ねて表示する。ユーザはマウス操作により任意の視点からモデルの拡大・回転・移動が可能であり、グスクや古道と周囲の地形の関係を直感的に把握できる。また、史跡データベースと連携することで、各史跡の位置に対応するマーカーやアイコンを地図上に表示でき、空間的な分布の把握が可能となっている。アプリ上で3Dモデルが表示されている様子を図4に示す。

3.5 UI設計

ユーザーインターフェース(UI)においては、専門的知識を持たない一般ユーザーでも直感的に操作できることを重視し、地図上に表示された史跡マーカーをクリックすると、当該史跡の名称・概要説明がポップアップで表示される仕組みを実装した。また、史跡の種類などで絞り込めるフィルタ機能も設計しており、ユーザの関心に応じた情報の選択的提示が可能となるよう配慮している。UIは今後もユーザーエクスペリエンス(UX)の向上を目指して継続的に改良を行う予定である。図5に、Webアプリ上で史跡情報を表示している様子を示す。



図5: アプリ上で史跡情報が表示されている様子

4. おわりに

本研究では、フォトグラメトリ技術を用いて生成した3Dモデルと、国土院が提供する地形データを統合する既存の可視化システムを拡張し、古道周辺の史跡データベースを組み込むことで、文化遺産の地形的特徴や歴史的背景を総合的に把握できるWebアプリケーションを構築した。また、ユーザが自らの関心に応じて情報を絞り込めるよう、史跡の種類に基づいたフィルタ機能を実装し、情報探索の効率性と利便性の向上を図った。一方で、生成される3Dモデルは非常に高精度である反面、データサイズが大きく、Webアプリケーション上での読み込みに時間を要するという課題も明らかとなった。今後は、モデルの分割配信やテキストとメッシュの軽量化などにより、表示速度と品質のバランスを最適化する工夫が求められる。

参考文献

- [1] 根路銘もえ子, 赤嶺有平. "屋外歴史的建造物の空間的關係を可視化するデジタル表現手法の開発", 考古学ジャーナル2023年5月臨時増刊号考古アカデミックレポート, (2023).