

## 装飾物を考慮した日本城郭のインタラクティブなモデリングシステム An interactive modeling system of Japanese Castles with Decorative Objects

梅山 翔伍<sup>†</sup> 土橋 宜典<sup>†</sup>  
Shogo Umeyama Yoshinori Dobashi

### 1. はじめに

本論文では、日本城郭を対象としたインタラクティブなモデリングシステムを提案する。パラメータの制御によりモデルを生成することを可能とした先行研究を発展させ、3D 空間を表示した画面上を直接クリックすることにより、内部で適切なパラメータを計算し、様々な形状の日本式城郭をモデリングできるユーザーインターフェースを構築する。本手法では石垣、櫓、屋根に焦点を当て、城郭の天守の基礎となるモデルを生成する手法を提案する。パラメータの数をできるだけ削減することで簡素化を目指す。また、日本の古来の建築に現れる独特の曲線をいくつか適用する手法も提案する。これにより、より直感的に、実際の形状に忠実な城郭のモデルを生成することを可能にする。

### 2. 関連研究

Müller らは、建物や都市全体のモデルを自動的に生成するプロシージャルな手法を提案している[1]。Soon Tee Toh らは、東アジアの国々の建築物をプロシージャルに生成する手法を提案している[2]。Fei Hou らは、立面図から中国建築の 3D モデルを生成する手法を提案している[3]。Nianjuan Jiang らは、単一画像から対称性を持つ建築物の 3D モデルを復元する手法を提案している[4]。

日本城郭では、藤野らが市販ソフトウェアの「Houdini」を用いてインタラクティブに 3D 形状を生成する手法を提案している[5]。しかし、ユーザーは多くの数値を手動で調整する必要がある。

### 3. 提案手法

一般的な日本式城郭は、石垣及び天守により構成される。天守は櫓と屋根によって構成される。本手法では構造は対称的であるとし、櫓は一定の割合で縮小する直方体の積み重ねで表現する。

基本構造は、ユーザーの指定する 4 点の 3 次元座標と 1 つの数値により生成される。4 点の 3 次元座標により位置及び形状が決定され、1 つの数値により櫓の段数が決定される。その後、日本建築で特徴的な曲線を持つ屋根や破風が自動的に生成される。この節では、ユーザーの指定した特徴点から基本構造を生成する方法を説明する。

#### 3.1 基本構造

基本構造は 4 つの特徴点により生成される (図 1 参照)。 $P_1$  および  $P_2$  は石垣の底面の対角の頂点である。 $P_3$  は石垣の上面の頂点、 $P_4$  は櫓の最上段の上面の頂点である。ユーザーはこれらの特徴点を、マウスで画面をクリックすることによりインタラクティブに指定する。 $P_1$  および  $P_2$  は地平面上に、また、 $P_3$  および  $P_4$  は  $P_1$  と  $P_2$  を含む地平に垂直な仮想平面上にある。ユーザーが画面をクリックすると、クリックした画素を通る視線のレイが逆透視変換により計算される。対応するレイと地平面または垂直仮想平面との

交点を計算することにより、4 点の 3 次元座標を求める。

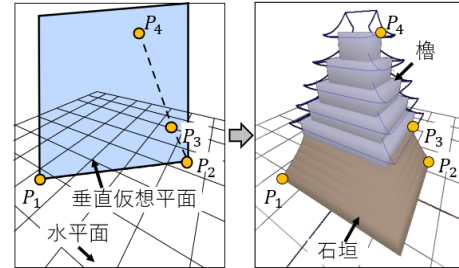


図 1 基本構造と特徴点

#### 3.2 石垣

石垣は  $P_1 \sim P_3$  の座標を用いて生成される。石垣の底面の長方形は  $P_1$  および  $P_2$  により決定される。また、石垣の上面の長方形は  $P_3$  を用いて決定される。底面と上面が決定すると、それらの対応する頂点を結ぶ曲線が生成される。この曲線の計算には、藤井により提案された漸化式を用いている。

#### 3.3 櫓

櫓は石垣の上面及び  $P_4$  の座標を用いて生成される。直方体を積み重ねることで形状を表現する。最下段の底面の長方形は、石垣の上面の長方形と一致するものとする。最上段の上面の長方形は  $P_4$  を用いて決定される。ユーザーは直方体の段数を指定することができる。

#### 3.4 屋根及び破風

櫓が生成されると、各段に対して屋根が自動で生成される。さらに、天守の最上段には入母屋破風の構造を持つ屋根も自動で配置される。ユーザーは完成した基本構造に対し、千鳥破風などの装飾をインタラクティブに配置することができる。日本建築における屋根や破風には特徴的な曲線が用いられている。これらの部位の位置と名称を図 2 に示す。

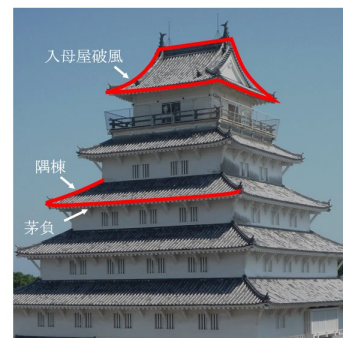


図 2 屋根の各部位の位置と名称

<sup>†</sup> 北海道大学情報科学院 Faculty of Information Science and Technology, Hokkaido University

### 3.4.1 茅負

茅負は屋根の軒先を構成する部材の名称である。茅負は両端に向かって上に反る形状をしている。この反りの曲線の計算には、柳井により提案された漸化式[6]を用いている。

### 3.4.2 隅棟

隅棟は、屋根の四方の隅に斜めに設けられた部分の名称である。実際の建築では、隅棟にはカテナリー曲線が使用されている。本手法では、計算量削減のため、放物線により近似する。放物線の原点が屋根の角の各頂点と一致するように生成する。

### 3.4.3 入母屋破風

檜の最上段には入母屋破風の構造をもつ屋根が配置される。入母屋破風は、各段に生成した屋根と千鳥破風を組み合わせた形状を持つ。

まず、基礎の屋根として、各段に生成したものと同様の屋根を生成する。茅負や隅棟の曲線も同様に適用する。

次に、千鳥破風を、基礎の屋根の上部と接続するように生成する。本手法では、千鳥破風を生成するための初期形状として三角柱を用いる(図 3 参照)。この初期形状に対し、適切な位置に曲線を適用する。この曲線の計算には、柳井により提案された漸化式を用いている。

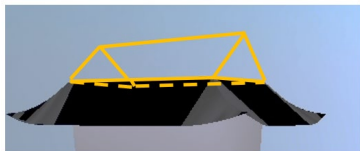


図 3 入母屋破風上部の初期形状

## 4. 結果

図 4 に、本手法を用いて生成した日本城郭のモデルの例をいくつか示す。これらのモデルは、実際の城郭の写真を参考にして制作した。参照画像に近いモデルを生成し、茅負や破風の曲線を再現できていることが分かる。また、基礎形状や屋根に加え、窓や壁面のパターン、破風などの細かい装飾も施している。特に松本城の例では、本手法を用いて実際の見た目に近い壁面のパターンを再現できている。本手法でこれらのモデルの生成に要した時間は、2~3 分程度である。

## 5. まとめと今後の展望

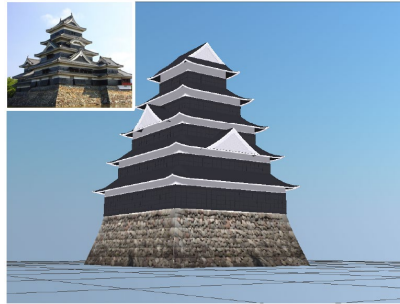
インタラクティブに日本城郭の 3D モデルを生成する手法を提案した。本手法では、少ない手順で、実際の城郭に使用されている細かい曲線を持つ日本城郭の形状を生成できる。

しかし、解決すべき課題は多く残っている。本手法では複雑な形状を持つ天守や、より細かい装飾を生成できない。本システムの拡張を続け、これらの課題に取り組みたい。

そのほか、画像認識技術と組み合わせ、写真を入力として自動で本手法に必要なパラメータを算出し、モデルを生成する手法に取り組みたい。



(a) 島原城



(b) 松本城



(c) 大阪城

図 4 本手法で生成した日本城郭モデルの例。モデル生成には実際の城郭の写真を参考にした。

### 参考文献

- [1] Pascal Müller, Peter Wonka, Simon Haegler, Andreas Ulmer and Luc Van Gool, "Procedural modeling of buildings," ACM Transactions on Graphics, vol.25, num.3, pp. 614-623 (2006)
- [2] Soon Tee Teoh, "Generalized Descriptions for the Procedural Modeling of Ancient East Asian Buildings," In Proceedings of the Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging, pp. 2830 (2009)
- [3] Fei Hou, Yue Qi, Hong Qin "Drawing-Based Procedural Modeling of Chinese Architectures." Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions, vol. 18, pp.30-42 (2011)
- [4] Nianjuan Jiang, Ping Tan, and Loong-Fah Cheong. "Symmetric architecture modeling with a single image. ACM Transactions on Graphics, vol.28, num.5, pp. 18. (2009)
- [5] 藤野真吾, 伊藤智也, 菊池司, "日本城郭のプロシージャルモデリング", 画像電子学会, 第 48 卷 (2019)
- [6] 柳井浩, "日本建築における屋根の曲線", オペレーションズリサーチ, Vol. 36, No. 3, pp. 146-153 (1991)
- [7] 藤井一幸, "熊本城の石垣曲線と数学", 横浜市立大学学術研究会 (2018)