

## 古代の建物を復元する3次元モデルの自動生成 Automatic Generation of 3-D Models restoring Ancient Buildings

杉原 健一  
Kenichi Sugihara

木村 寛之†  
Hiroyuki Kimura

### 1. まえがき

発掘調査の成果を住民へ公開する現場説明会や都市計画の一貫で行われる町並み整備において、「古の街並みを復元する」という整備案を住民へ公開することが重要視されている。このとき、現状では、遺跡や中世の街並み等の平面図や地図の公開や難解な文章で説明を行っている。整備案の地図や難解な文章では、専門家でないとその出来上りのイメージやかつてあった遺跡のイメージを思い浮かべることができない。合意形成のためには、現実世界に近い3次元イメージを具体的に実感できる詳細な3次元モデルが必要である。ところが、現在、この3次元モデル作成には、多大の手作業による3次元モデリング作業が必要である。そこで、この作業を省力化するために、3次元モデルを自動的に作成するシステムを開発することを目的とする。3次元モデルの元になるものは、電子地図上の建物ポリゴン(建物境界線)である。これらは、市販のGISアプリケーションで蓄積・管理される。これを頂角が直角の建物ポリゴン(直角ポリゴン)を長方形の集まりへ分割する。前処理されたデータに基づいて、建物の屋根や窓等の部品を作成するために適切なサイズの基本立体(直方体やプリズム等)の生成、窓をあけるため等の基本立体へのブール演算、部品の回転と位置決め、部品に対してテクスチャマッピングを行い、3次元モデルを自動生成する。

### 2. 自動生成のプロセス

3次元都市モデルの情報源になるものは、建物境界線である建物ポリゴンが描かれている電子地図である。電子地図は、汎用のGIS(地理情報システム)によって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、次工程であるGISモジュールにて、①複雑な形状をした頂角が直角の建物ポリゴン(orthogonal polygon)を長方形の集まりにまで分割する。②建物ポリゴン上の不要な頂点をフィルタリングする。③建物境界線よりセットバックした所にある窓やドアを配置するため内側境界線を生成する、等の前処理を行う(図1上図参照)。前処理したデータを、3次元CGソフトをコントロールするCGモジュールに送り、①屋根や建物本体、窓など建物の部品となる、適切な大きさの直方体、プリズム、多角柱等の基本立体(プリミティブ)を作成する。②これらの基本立体に対してブール演算を行い、屋根や窓などの部品を作成する。③作成した部品を回転する。④正しい位置にそれらを配置する。⑤それらにテクスチャマッピングを施す、等の処理を行い、3次元建物モデルを自動生成する。電子地図上の建物ポリゴンが、上記処理が行われ3次元建物モデルとなる様子を図1に示す。

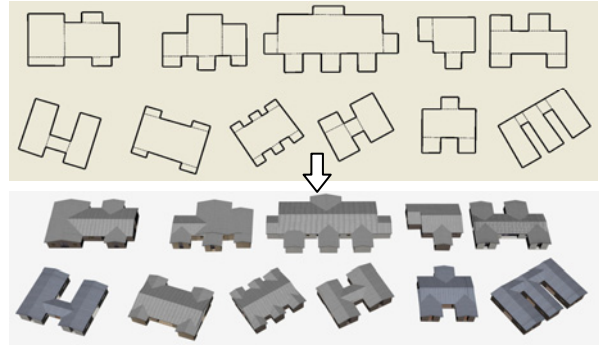


図1 多様な形状をした直角ポリゴンに対して分割処理(上図)分割されたポリゴン上に自動生成した3次元建物モデル(下図)

### 3. 古代の建物の3次元モデル自動生成

#### 3.1 古代の建物の3次元モデル化の意義

考古学は、物質的証拠(物証)によって、過去のもの、古代の建物等を復元する科学であり、物証を獲得する目的で、発掘調査を行うとされる[1]。過去を復元するための推論過程で、ビジュアルイゼーション(建物等の3次元モデル化)が重要な役割をはたすと期待されている。発掘調査によって得られる物証は、多くの場合、常に不完全あるいは欠損状態にあり、原形で出土するものはほとんどない。これを原形に復元して、可視化することができれば、過去を考える有力な参考情報を提供できることになる。掘立柱の遺構(柱穴)とその他の断片的な情報を総合的に分析・推論して、上部構造(建物)を復元する事例が多い。この推論する過程で、断片的な物証をよりどころにして、原形を脳裏にイメージしなければならぬ場面にしばしば遭遇するが、往々にして、これは正確さを欠いたり、ときには誤った思いこみの原因につながるとされる[1]。そこで、CGを用いて、上部構造の3次元モデル化を行い、こうした問題が劇的に軽減できると考えられる。このとき、現状では、3次元CGソフトを用いた手作業による3次元モデル化を行い、多大の時間と労力を掛けている。その結果、3次元モデルの復元をあきらめるか、予算超過に陥ることになることが多い。そこで、労力のかかる製作作業を省力化する技術として、「3次元都市モデルの自動生成システム」[2]を活用することを考えた。当システムは、現在は現代の建物を自動生成するシステムとなっているが、それを古代の建物等を作成するようプログラム開発を行えば、「考古学を支援する古代の3次元建物モデルの自動生成システム」となる。

† 岐阜経済大学

‡ (株)イビソク

### 3.2 朱雀門の3次元モデルの自動生成

自動生成する対象である「古代の建物」は、その構成物の形態や色、模様は多種多様であり、全てを3次元モデリングすることは難しい。様々な中から基本形を決め、自動生成する3次元モデルの仕様を決定する。本研究では、平城宮の南面中央に作られた正門である朱雀門の3次元モデルの自動生成に取り組んだ。この朱雀門は、同じく平城宮の正殿である大極殿、平城京の羅城門、平安神宮の大極殿、太宰府政庁南門などと同じ構造をもつとされる[3]。従って、朱雀門は多種多様な古代の建物の代表的な基本形の1つであると考えられる。

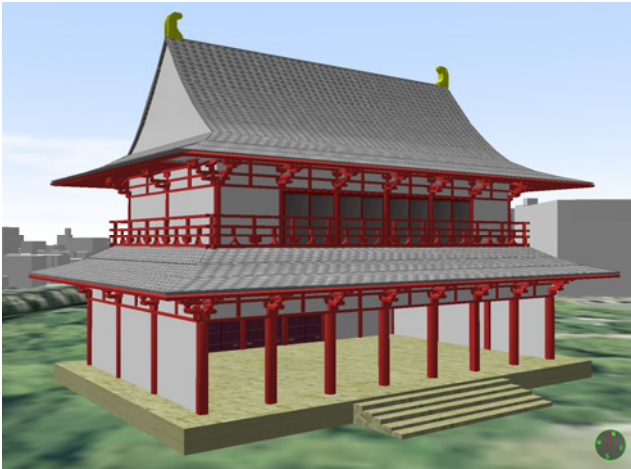


図2上 朱雀門の写真

図2下 本システムで自動生成した朱雀門

本システムで自動生成した朱雀門を図2の下図で示す。朱雀門に代表される屋根は寺の屋根のように、屋根の傾斜は曲線を描いている。この曲線は、昔匠たちが使っていた糸をたらしめてものの形を決めるやり方で決めた、いわゆる、懸垂曲線 (Catenary)を描いているとされる[4]。

$$\text{懸垂曲線: } \cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

本研究では、懸垂曲線の一部区間(-2.4~0.4)を使って、なだらかな傾斜をもつ屋根を自動生成した。但し、なだらかな傾斜を持つ屋根といっても、構成する瓦や板はなだらかに反っていることはなく、複数の細長く薄い直方体形状の板で形成される。従って、なだらかな懸垂曲線

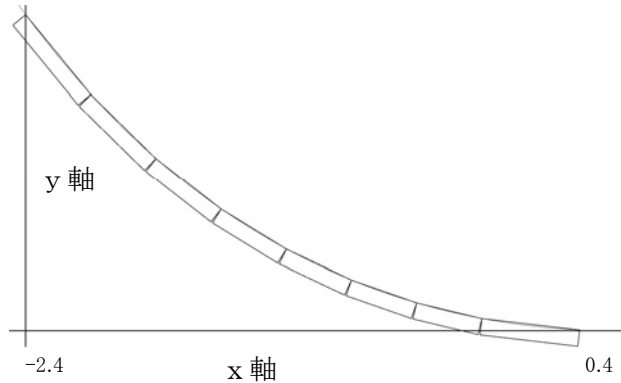


図3 懸垂曲線に沿って板が配置される寺屋根の断面図

をx軸方向に等間隔でサンプリングした値で板の幅、傾きを決めている。懸垂曲線をサンプリングした値を用いて大きさ、傾きを決めた、複数の板で構成される寺屋根の断面図を図3に示す。ここで、軒部を形成する板は、他の板と比べて、軒部分だけ、x軸方向の長さが長くなっている。そのため、軒部を形成する板の位置を決める式は、他の板の位置を決める式とはオフセット分だけ異なる。屋根は、「切妻屋根」、「寄せ棟屋根」、「横長切妻屋根」、「入母屋屋根」、「寺屋根」など、様々な形態の屋根が存在し、また、屋根の傾斜についても諸説がある。本システムでは、懸垂曲線のどの区間を使うか、あるいは、どのような曲線を採用するかで、自由な傾斜のある屋根を生成することができる。

### 4. まとめ

本研究では、開発している3次元建物モデルを自動生成する「GISとCGの統合化システム」の運用で、「古代の建物を自動生成するシステム」を提案した。この「統合化システム」の特徴を以下に列挙する。

(1) まちづくりや都市計画において、将来の街の姿を考えると、あるいは、かつてあった町屋型の建物を復元するとき、一般的に、地図を描いて、計画案、代替案を検討する。この地図が、素速く街の3次元モデルに変換できれば、プランニングの効率を上げることができる(本システムは都市計画コンサルタント2社で採用された)。

(2) 都市シミュレーションシステムは、一般的に、大規模で、高価だが、本システムは、市販のGISソフト、3次元CGソフト、本システムから構成されるシンプルで、安価な統合化システムである。

(3) GISとCGの統合化したシステムで、単独のシステムではできないこと、即ち、データベース(GIS)で地物を管理し、且つ、CGで地物の3次元モデルを生成することができる。

#### 参考文献

- [1] 小沢一雅:情報処理学会誌 Vol.43 No.10 通巻 452 号 2002
- [2] Kenichi SUGIHARA : Generalized Building Polygon Partitioning for Automatic Generation of 3-D Building Models, ACM SIGGRAPH 2006, Posters Session, Virtual/Augmented/Mixed Reality & Environments 150, 30 JULY-3 AUG, 2006
- [3] 岡田茂弘:”古代の都を復元する”,(株)学習研究社, p28-p29,2002
- [4] <http://puh.web.infoseek.co.jp/catenary.htm>