

# GISベースの古代建築物の3Dモデルによる考古学、まちづくり支援システム

杉原 健一、沈 振江

GIS based Archaeological and Urban Planning Support System by 3D Ancient Building Models

Kenichi SUGIHARA、SHEN Zhen-jiang

**Abstract:** 3D ancient building models of temples, pagodas and ancient gate are important in archaeological research and in facilitating “Public Involvement”. In Japan, public agencies publicize the results of excavations or urban planning by showing floor plans and side views and by explaining with papers difficult to understand. To facilitate “Public Involvement”, 3D models of temples, pagodas and ancient gate can be of great use. However, enormous time and labor has to be consumed to create these 3D models, using 3D modeling software such as 3ds Max or SketchUp. In order to automate the laborious steps, we are proposing the GIS and CG integrated system that automatically generates 3D building models from building polygons (building footprints) on a digital map. Examples of the application of the system for 3D ancient building models such as “Mino Kokubunji” and “Suzakumon” are shown.

**Keywords:** 3Dモデル(3D Model)、自動生成(Automatic Generation)、考古学支援システム(Archaeology Support System)、まちづくり支援システム(Urban Planning Support System)、遺跡復元(Restoration of Archaeological Site)

## 1. はじめに

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(3Dモデル化)が重要な役割をはたすと期待されている。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ない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(小沢一雅、2001)。そこで、CG(コンピュータ・グラフィックス)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。

また、発掘調査の成果を住民に説明することや古の街並みを復元する町並み整備案等を住民へ公開することが、公の仕事の合意形成という観点から、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、一般的には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、専門家でないと案の出来上がりを理解することは困難であり、また、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。遺跡など、かつてあったであろう建物等の3Dモデルを自由に観察できるシステムがあれば、多くの住民が発掘調査や考古学研究成果

を理解でき、まちづくりにも役立つ。遺跡や中世・近世の街並み、城郭等を復元する3Dモデルは、以下の分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。

1)埋蔵文化財の発掘調査を行う行政 2)資料館及び博物館 3)観光協会 4)文化財保存・復元を行うNPO法人 5)教育機関 6)町並み整備を行う行政。

しかし、現状では、この3Dモデル作成のためには3ds MaxやSketchUpなどの3次元CGソフトを用い、多くの手作業を行う必要があり、多大な時間と労力を掛けている。多大の労力と時間が必要なため、外注する場合も予算超過に陥ったり、モデル作成を断念することが多い。そこで、入手可能であれば発掘調査の地図に基づいて、往時の建物などを再現する3Dモデルをプログラムで自動生成する「GISベースの古代建築物の3Dモデルによる考古学、まちづくり支援システム」を提案する。具体的には、これまでの研究成果である「GISとCGの統合化による3次元都市モデルの自動生成システム」(Kenichi SUGIHARA、2009)、これは現代の建物を自動生成するプログラムとなっているが、それらを改変して、古代の建物などを復元する3Dモデルを自動生成するプログラム開発を行った。

## 2. 街並みの3Dモデルについて

建物を主要な構成物とする都市の3Dモデル(図3参照)は、都市計画、まちづくり、景観などのアカデミックな分野から公共事業の情報公開、まちづくりへ

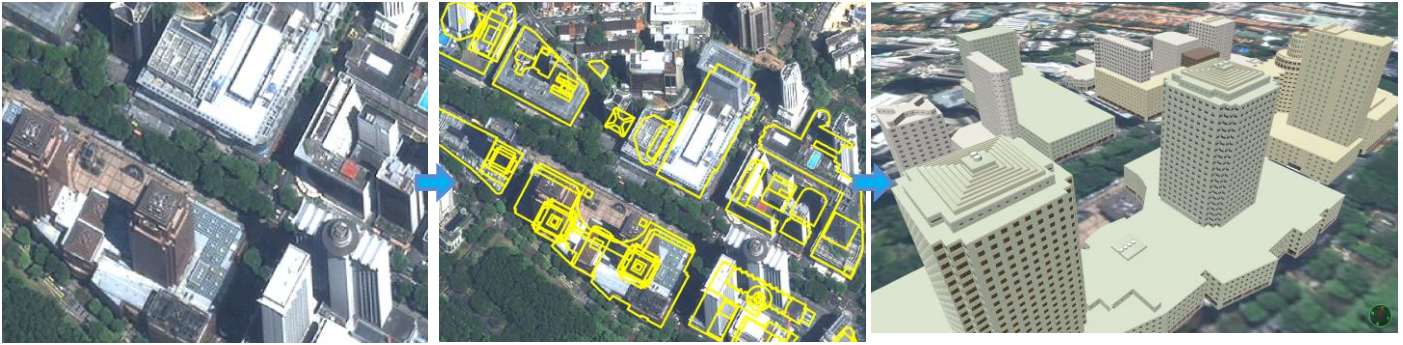


図1 シンガポールの中心街のオルソ画像 図2 属性情報を関連付けた建物ポリゴンが描いてある電子地図 図3 本システムで自動生成したシンガポールの街並み

の住民参加の場、観光案内、企業の広告、営業活動の場としてまで利活用が期待される重要な「情報基盤」である。住民参加型まちづくりでは、現状と整備案の都市の3Dモデルを提示するワークショップ等を開催し、住民、地権者、行政、デザイナーなどの専門家が目標とする街の3Dイメージを共有し、改善案や代替案を検討していくことがよりよいまちづくりにつながる。「現実の街並み」を再現する都市の3Dモデルは、CGやCV（コンピュータビジョン）、リモートセンシングなどの技術を用いて、現実世界のものの3D形状や色などの情報をコンピュータの世界に取り込んで、仮想空間に構築する。

一方、「将来あるべき街の姿」あるいは「過去の街並み」を再現するには、それぞれ、デザイナーが描く街並みの地図やコンサルタント企業が提出する発掘調査結果、古地図などの地図情報に基づき、主にCGを用いて、街並みの3Dモデルを製作する。

近年、この都市の3Dモデルは、グーグル社のGoogle Earthの3D表示やリンデンラボ社のセカンドライフ等で、人々の関心が急速に高まっている。セカンドライフは、現実世界とは異なる世界を構築しているが、Google Earthの3D表示は、現実世界を仮想空間に取り込んで、現実世界を模している。

これらの都市の3Dモデルを作成するためには、多くの手作業で作成を行う必要があり、多大な時間と労

力を掛けている。例えば、3DモデルをCSG（Constructive Solid Geometry）で作成する場合、次に示す(1)から(5)の労力のかかる手順に従って、モデリングを行っている。(1)屋根や建物本体など建物の部品となる、適切な大きさの直方体、三角柱、多角柱などの基本立体（プリミティブ）を作成する。(2)これらの基本立体の間で、窓やドア用に穴を空ける、または、部品の形状を形成するためのブール演算を行う。(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。

### 3. 自動生成システムの構成と流れ

本研究における自動生成のシステム構成と3次元建物モデルの自動生成のプロセスを図4に示す。建物の3Dモデルの情報源になるものは、図1のオルソ画像と図2に示すようなオルソ画像上に描いた電子地図である。電子地図は、汎用GIS（ArcGISなど）によって、蓄積される。電子地図上の建物ポリゴンは、GISのソフト部品（MapObjects）を用いてプログラム開発したGISモジュールにて、(1)直角ポリゴンを「長方形の集まり」にまで、分割・分離する。(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、などの「前処理」を行う。

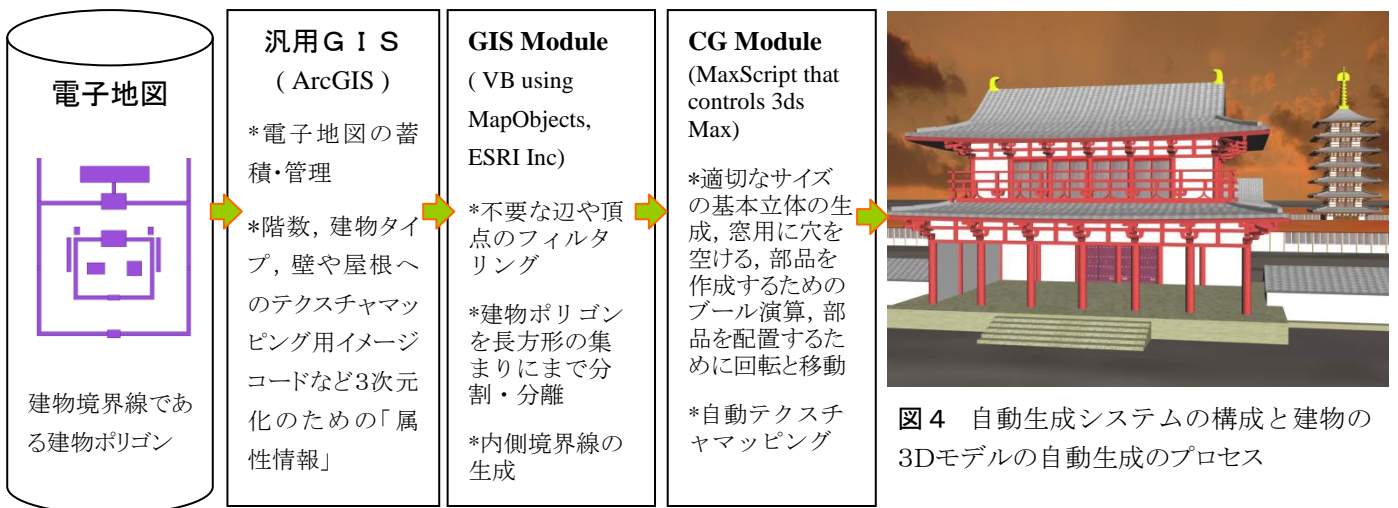


図4 自動生成システムの構成と建物の3Dモデルの自動生成のプロセス

前処理したデータを、3次元CGソフト(3ds Max)をコントロールするCGモジュール(MaxScriptでプログラム開発)が取り込み、以下の処理を自動的に実行し、3次元建物モデルを自動生成する。

- (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、三角柱、多角柱などの基本立体(プリミティブ)を作成する。
- (2) これらの基本立体の間で、屋根や窓用に穴を空ける、または、部品を作成するためのブール演算を行う。
- (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。

このGISモジュールとCGモジュールでの処理は、本研究で開発したプログラムによって、全て自動的に処理される。

#### 4. 古代の建物の3次元モデルの自動生成

本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(岡田茂弘、2002)。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。

本システムで自動生成した朱雀門を図10、図11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し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(<http://puh.web.infoseek.co.jp/catenary.htm>)。

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

本研究では、懸垂曲線の一部区間(-2.4~0.4)を使って、

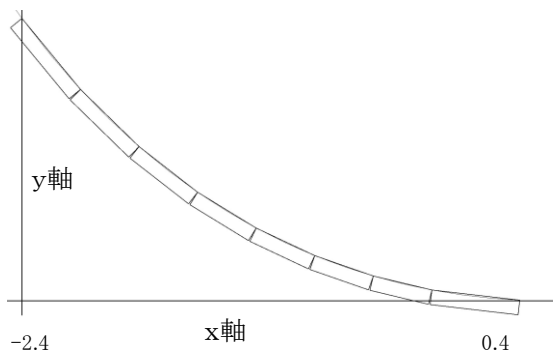


図5 懸垂曲線に沿って屋根板が配置される寺屋根の断面図

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5に示す。

発掘調査の成果である電子地図とシステムが自動生成した事例を図6以降に示す。図6は、大垣市青野町にあった「美濃国分寺」で、奈良時代中期に全国に建立された国分寺の一つで、その跡は、創建当時の伽藍の規模がわかるように整備され、史跡公園となっている。ソフトピアジャパンの共同研究開発事業で補助を受けて、大垣市の文化財支援企業(イビソク(株))と共同研究で、この美濃国分寺を再現する研究を行った。美濃国分寺の創建時期の伽藍配置について、昭和49年に模型が作成された川原寺式伽藍配置(図6参照)と、近年の研究結果から得た大官大寺式伽藍配置(図7参照)がある。現在の美濃国分寺の伽藍配置は大官大寺式を採用している。第3の案では、寺域外の建物の位置を検討した。各地の国分寺や国分寺に関する発掘資料から推測すると国分寺の周辺にも穀物倉や国分寺の僧侶についてきた人々の住まいなどもあったと考えられる。そこで、周辺地域の復原案として穀物倉を寺域の東側に配置した。通常、伽藍配置の検討は「川原寺式案」、「大官大寺式案」のように平面図で行うが、本研究

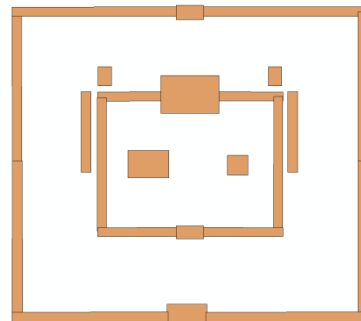


図6上 美濃国分寺の発掘調査の成果である電子地図(川原寺式伽藍配置の復原案)



図6下 電子地図より自動生成した3Dモデル

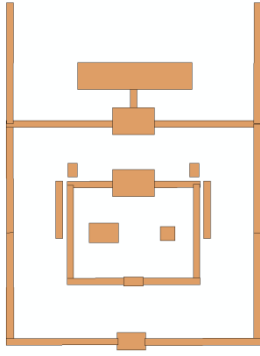


図7左 美濃国分寺の発掘調査の成果である電子地図(大官大寺式伽藍配置の復原案)

図7右 大官大寺式伽藍配置の復原案の電子地図より自動生成した3Dモデル

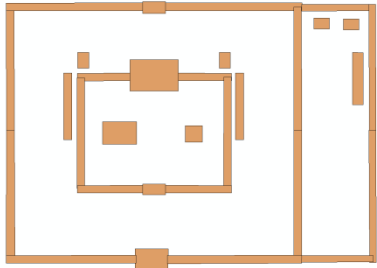


図8左 穀物倉や人々の住まいを寺域の東側に配置した復原案である電子地図

図8右 電子地図より自動生成した3Dモデル

では、平面図より自動生成した3Dモデルで伽藍配置の検討を行う。この時、検討された伽藍配置案に対して建物形状の設定・柱や壁の色・屋根の材質等の建物の属性を決定する必要がある。

本研究では、これまでの研究成果、「3次元都市モデルの自動生成システム」を発展させ、遺跡や古の街並みを復元する中世・古代の建築物の3次元モデルを自動生成するシステムの開発を行った。発掘調査に基づいて、かつてあった建物を復元するとき、一般的に、地図を描いて、復元案を検討する。この地図を、素速く

古代の建物の3Dモデルに変換できれば、考古学における調査研究、遺跡復元を支援することができる。

#### 参考文献

- 小沢一雅: 情報処理学会誌 Vol. 43 No. 10 通巻 452 号 2002  
 Kenichi SUGIHARA: “Automatic Generation of 3D Building Models with Various Shapes of Roofs”、ACM SIGGRAPH ASIA 2009、Sketches.  
 岡田茂弘: “古代の都を復元する”、(株)学習研究社、p28-p29、2002



図9 平城宮の南面中央の朱雀門の写真



図10 自動生成した朱雀門の3Dモデル

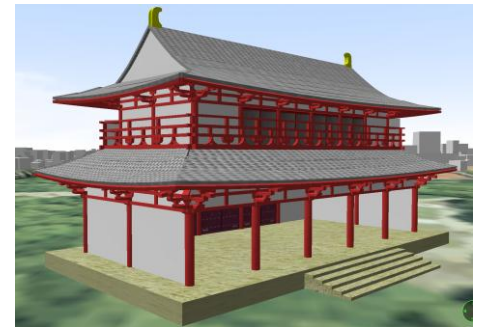


図11 屋根傾きや柱の間隔等のパラメタの値を変えた3Dモデル



図12 美濃国分寺の模型の写真

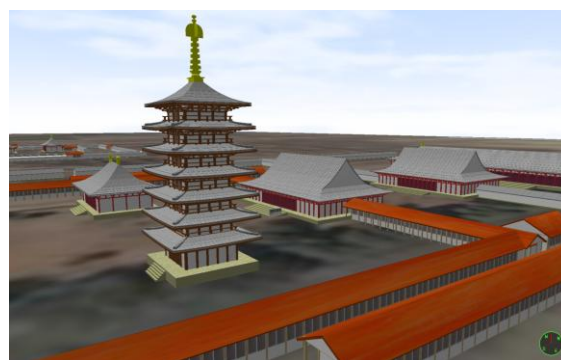


図13 低い視点から眺めた、自動生成した美濃国分寺の3Dモデル