

(24) 発掘調査地図に基づく古代建物の3Dモデルの自動生成

Automatic Generation of 3D Ancient Building Models based on Digital Excavation Map

杉原 健一¹・沈 振江²

Kenichi SUGIHARA, Zhenjiang SHEN

抄録: 過去を復元するための推論過程で、3Dモデル化が重要な役割をはたす。掘立柱の遺構とその他の断片的な情報を分析・推論して、上部構造を復元する事例が多い。その推論過程で、断片的な物証をよりどころにして、イメージしなければならないが、正確さを欠いたり、誤った思いこみの原因につながる。そこで、CGを用いて、上部構造の3Dモデル化を行えば、こうした問題が劇的に軽減できる。また、遺跡や中世・近世の街並みなど、かつてあったであろう建物等を復元する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。しかし、3Dモデル作成には、多大の労力と時間が必要である。そこで、発掘調査の成果である電子地図に基づいて3Dモデルを自動生成するシステムの開発を目的とする。

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 “Suzaku mon” are shown.

キーワード: 自動生成, CG, GIS, 3Dモデル, 考古学支援システム, 遺跡復元

Keywords: Automatic Generation, CG, GIS, 3D Model, Archaeology Support System, 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。

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、専門家でないとな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

かべることはできない。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「発掘調査地図に基づく古代建築物の3Dモデルの自動生成システム」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」²⁾³⁾、これは現代の建物を自動生成するプロ

1 : 正会員 工博 岐阜経済大学 教授 情報メディア学科

(〒503-8550 岐阜県大垣市北方町5丁目50番, Tel :0584-77-3511, E-mail : sugihara@gifu-keizai.ac.jp)

2 : 非会員 工博 金沢大学 准教授 理工研究域 環境デザイン学系 (〒920-8667 金沢市小立野2丁目40番40号)

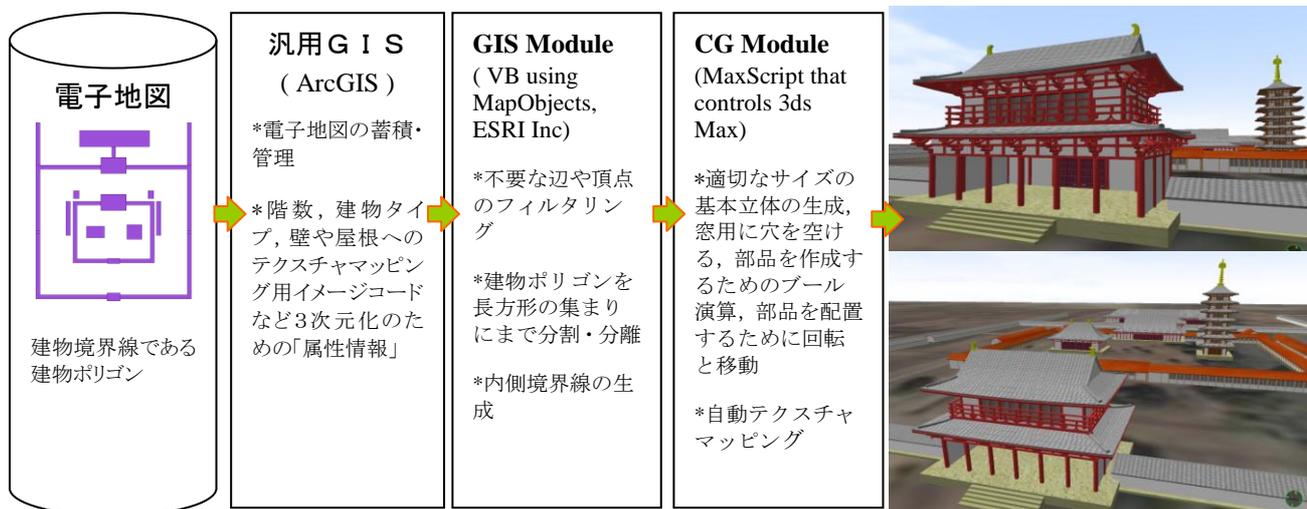


図-1 自動生成システムの構成と古代建物の3Dモデルの自動生成のプロセス

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. 本システムの構成と自動生成のプロセス

「過去の街並み」を再現するには、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。

これらの街並みの3Dモデルを作成するには、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。本研究における自動生成のシステム構成と3D建物モデルの自動生成のプロセスを図-1に示す。建物の3Dモデルの情報源になるものは、発掘調査の電子地図である。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。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)が取込み、以下の処理を自動的に行い、3D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、屋根や窓用に穴を開ける、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。

3. 建築部品の自動生成のプロセス

社寺建築を構成する主要な建築部品の一つに、柱または台輪(だいわ)上にあつて、軒を支持するために斗(ます)、肘木、桁などで構成される建築部分を「組物(くみもの)」がある⁴⁾。寺院や門などの古代の建物において、屋根を支える軒下の組物は、古代中国、朝鮮からの、主に帰化人より伝来されたもので、組物を構成する各パーツの形状やその組み立て方は、ほぼ、古代から標準化されている。本研究では、この組物を構成する部品の3Dモデルを、各部品の正面図と側面図から自動生成することを試みた。図-2に、その自動生成のプロセスを示す。前処理として、各部品を正面と側面から見たときの、部品の外側の輪郭線を、開発した「図形描画ソフト」上に手作業で描く。この図形描画ソフトは、描いた輪郭線の図形情報を、正面図と側面図として、エクスポートする。図-1に示すCGモジュールが、ヘッダファイルとして、輪郭線図形情報を受け取る。

本研究において、図-5の写真に示す平城宮の南面中央に作られた正門である朱雀門を自動生成のターゲットとした。そして、それを構成する詳細な部品として、図-3の写真に示す朱雀門の「組物」を自動生成の対象とした。図-2において、組物のW形の部品(肘木)とL字形の部品(桁)の側面図、正面図から3Dモデルが生成される様子を示す。CGモジュールが以下の手順を行い、3Dモデルを自動生成する。

(1)描いた外側輪郭線をヘッダファイルとして取り込む。(2)輪郭線の範囲を調べる。(3)輪郭線を実寸値にスケール変換する。(4)正面からみた対象物の輪郭線をx y平面に展開する。(5)輪郭線を部品の長さに応じて

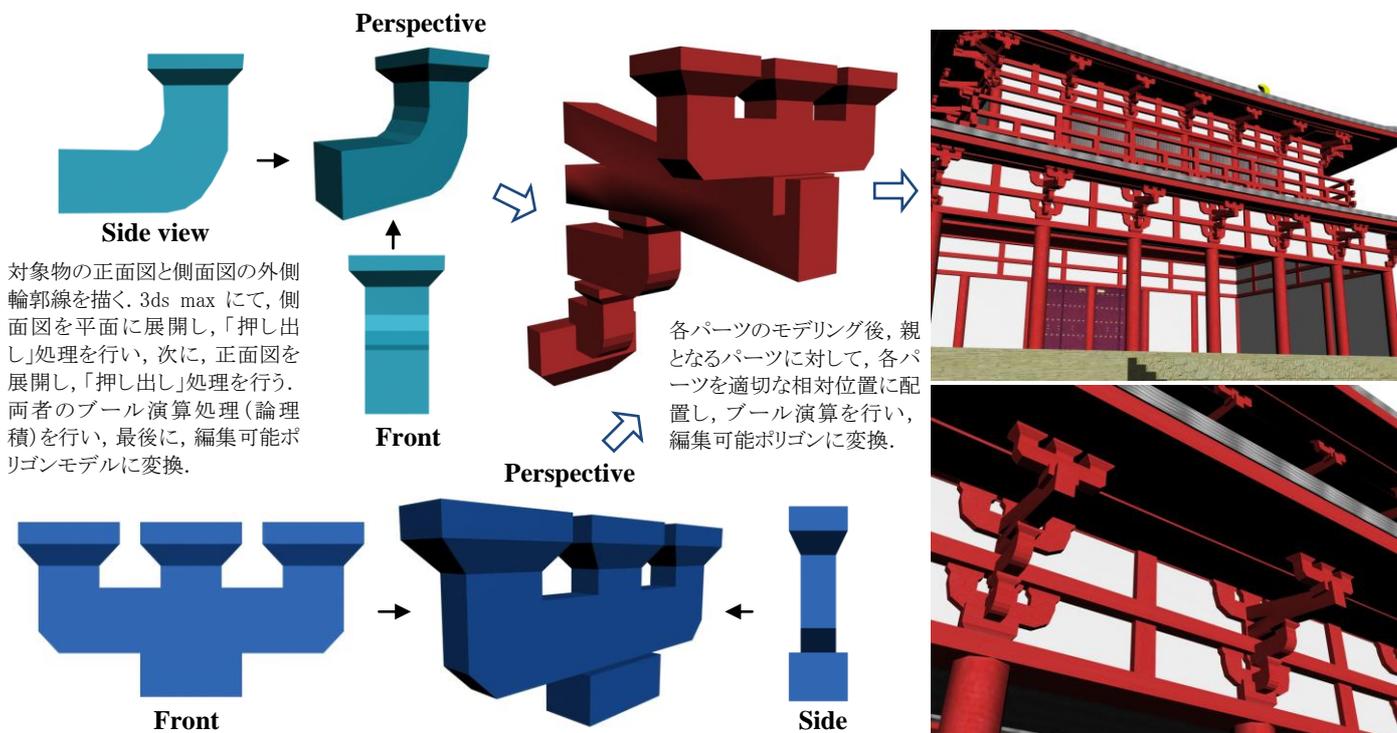


図-2 軒下の組物の3Dモデルの自動生成のプロセス

押し出し(Extrude)処理を行う。(6)押し出しされて形成された3Dモデルをy軸回りに回転し、2段階目の押し出しとブール演算処理のために、適切に位置合わせする。(7)側面からみた対象物の輪郭線をx-y平面に展開する。(8)側面輪郭線を部品の長さに応じて押し出し処理を行い、3Dモデルを形成する。(9)形成された2つの3Dモデルでブール演算(論理積)を行う。(10)ブール演算した3Dモデルを、面の集まりである「編集可能ポリゴン」モデルに変換する。

4. 自動生成システムの適用事例

「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



図-3 朱雀門における軒下の組物

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⁵⁾。

本システムで自動生成した朱雀門を図-6、図-7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⁶⁾。

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

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-4に示す。図-8は、大垣市青野町にあった「美濃国分寺」の模型の写真で、奈良時代中期に全国に建立された国分寺の一つである。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。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と、近年の研究結果から得た大官大寺式伽藍配置がある。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、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、本研究では、平面図より生成した3Dモデルで伽藍配置の検討を行った。

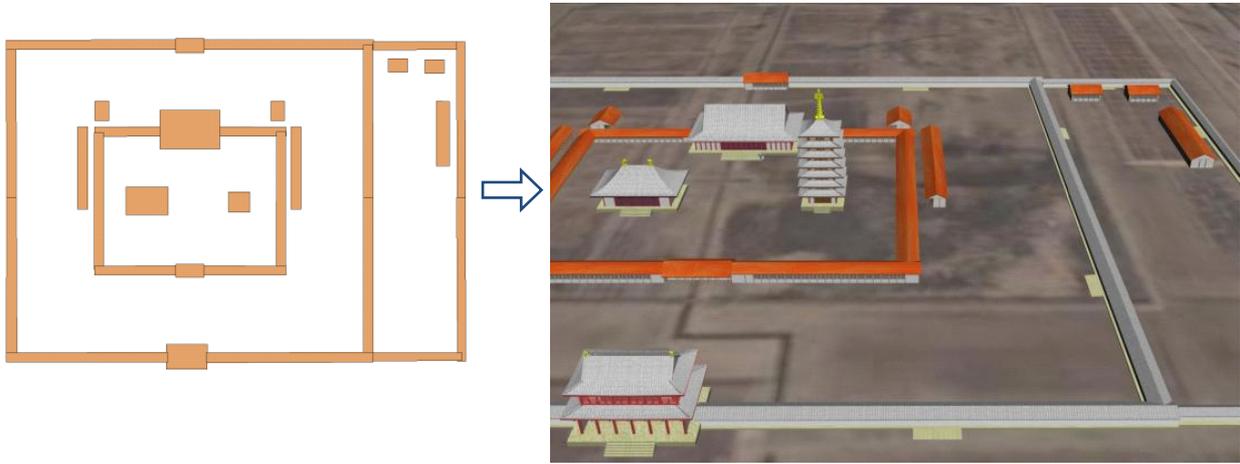


図-4 左 穀物倉や人々の住まいを寺域の東側に配置した復原案である電子地図
 図-4 右 電子地図より自動生成した美濃国分寺の3Dモデル

5. まとめ

通常、発掘調査の成果として、地図や一般的には難解な文書が提出されることが多い。しかし、この地図や文書だけから、かつてあったであろう荘厳な古代の門や目を見張る七重塔などを想像することは難しい。そこで、CGで古代の建物の3Dモデルを作成して、往時の様子を再現するイメージ図を作ることが発掘調査の成果をより世に知らしめ、また、考古学や歴史教育を支援するものとなる。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

- 1) 小沢一雅:情報処理学会誌 Vol.43 No.10 通巻 452 号 2002
- 2) KENICHI SUGIHARA, (2006). "Generalized Building Polygon Partitioning for Automatic Generation of 3D Building Models", ACM SIGGRAPH 2006, Posters Session
- 3) Kenichi SUGIHARA: "Automatic Generation of 3D Building Models with Various Shapes of Roofs", ACM SIGGRAPH ASIA 2009, Sketches.
- 4) 建築学用語辞典 日本建築学会編 岩波書店
- 5) 岡田茂弘:"古代の都を復元する", (株)学習研究社, p28-p29
- 6) <http://puh.web.infoseek.co.jp/catenary.htm>



図-5 平城宮の南面中央の朱雀門実写



図-6 自動生成した朱雀門の3Dモデル

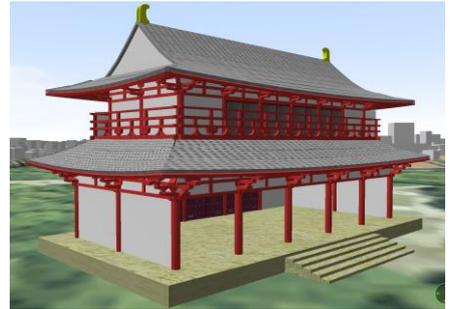


図-7 屋根傾きや柱の間隔等のパラメタの値を変えた3Dモデル



図-8 美濃国分寺の模型の写真

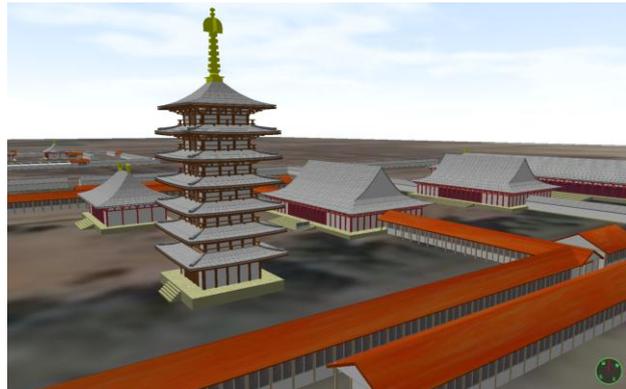


図-9 低い視点から眺めた、自動生成した美濃国分寺の3Dモデル