

GIS データによる京都の町並みモデルの自動生成

平部 敬士
立命館大学大学院 理工学研究科

磯田 弦
立命館アジア太平洋大学 アジア太平洋学部

小阪 佳宏
NEC システムテクノロジー(株)

仲田 晋
立命館大学 情報理工学部

澤井 雅和
立命館大学大学院 理工学研究科

塚本 章宏
立命館大学 文学部

長谷川 恭子
立命館大学 R-GIRO

田中 覚
立命館大学 情報理工学部

歴史学や地理学の研究支援のために、あるいは映画作成の支援のために様々な時代の町並みを CG で再現することが有効である場合が多い。本研究では、地理情報システム (GIS) データを基にした 3 次元都市モデルの自動生成を行った。GIS データに記載された敷地情報を基に、あらかじめ用意しておいた町家やビルモデルの基本パターンを適宜選択・変形させ、3 次元都市モデルを生成する。これにより、大規模な都市モデルを比較的容易に、かつ低コストで作成することができる。本研究の主な自動生成対象は京町家の町並み、そして京都四条通のビル群である。

Automatic generation of urban 3D model of Kyoto based on GIS data

Takashi Hirabe
Graduate School of Science and
Engineering
Ritsumeikan University

Yuzuru isoda
College of Asia Pacific Studies
Ritsumeikan Asia Pacific University

Yoshihiro Kosaka
NEC System Technologies Ltd.

Susumu Nakata
College of Science and Engineering
Ritsumeikan University

Masakazu Sawai
Graduate School of Science and
Engineering
Ritsumeikan University

Akihiro Tsukamoto
College of Letters
Ritsumeikan University

Kyoko Hasegawa
R-GIRO
Ritsumeikan University

Satoshi Tanaka
College of Science and Engineering
Ritsumeikan University

This paper explores a method for reconstructing large-scale 3D urban areas from 2D data of the Geographic Information System (GIS). Our approach enables automatic reconstruction of 3D models of houses using the GIS data. The main target of the automatic generation of 3D models is the city of Kyoto in the Edo era and the houses peculiar to the urban area of Kyoto called *kyomachiya* are generated using parametric models of ten different types of *kyomachiya* and allocated based on the GIS. Houses are created from polygon data, fences from line data, and pedestrians and trees from point data. The method is applied to the project 'Virtual Kyoto Time-Space' in which the whole city of Kyoto during the Edo era is re-created.

1. はじめに

近年、都市景観計画や都市環境計画、防災シミュレーションなどの目的で 3 次元都市モデルが作成され、他の様々な分野でもその需要は

高まっている。しかし、精密かつ広域にわたる 3 次元都市モデルの作成には多大な時間と費用がかかってしまうため、カーナビゲーションシステムなどの採算性の高い実用分野でしか扱うことができなかった。

一方で、新たな測量技術の開発や高解像度の衛星データなどにより、様々な 2 次元地理データの整備が進んでいる。その一つに地理情報システム (GIS: Geographic Information System) という、地理的位置に関する情報を持ったデータを総合的に管理・加工し、視覚的に表示する技術がある[1]。

本研究では、GIS の空間データと属性データに 3 次元の形状データを組み合わせることで、3 次元都市モデルを低コストで自動生成することを目的としている。

立命館大学では、21 世紀 COE プログラム「京都アート・エンタテインメント創成研究」のサブプロジェクト「京都バーチャル時・空間」において、京都市全域の 3 次元都市モデルの作成を行ってきた[2][3]。現在はそれを発展させた、グローバル COE プログラム「日本文化デジタル・ヒューマニティーズ拠点」の研究プロジェクトとして、無形・有形文化財のデジタルアーカイブ化や、バーチャル京都のさらなる発展に取り組んでいる[4][5]。

2. 3 次元都市モデル自動生成ツール

2 次元の GIS データ (図 1) から 3 次元都市モデルを自動生成するツールとして、Microsoft Excel のマクロ言語である Excel VBA (Visual Basic for Application) で記述したプログラムを使用している。



図 1: 視覚化した GIS データ (洛中絵図)

2.1 パラメトリック 3D モデルシート

本ツールの特長として、「パラメトリック 3D モデルシート」(図 2) を用いていることが挙げられる。

A	B	C	D	E	F	G	H
1	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
2	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
3	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
4	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
5	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
6	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
7	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
8	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
9	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
10	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
11	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
12	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
13	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
14	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
15	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
16	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
17	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
18	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
19	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
20	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
21	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
22	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
23	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
24	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
25	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
26	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
27	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
28	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
29	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
30	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
31	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
32	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
33	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
34	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
35	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
36	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
37	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
38	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
39	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
40	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
41	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
42	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
43	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
44	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
45	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
46	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
47	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
48	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
49	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####
50	データ	#####	#####	#####	#####	#####	#####

図 2: パラメトリック 3D モデルシート

2 次元データから 3 次元モデルを生成するためには、2 次元データに 3 次元の形状情報を与えなければならない。そしてその形状は様々な長さや高さに対応した、パラメトリックな 3D モデルである必要がある。この 3 次元の形状情報を Excel のスプレッドシートに記したものがパラメトリック 3D モデルシートである。一般的な 3D モデルは 3 次元の頂点群によって定義される面で構成されるが、パラメトリック 3D モデルシートでは、この頂点群の座標値を具体的な数値ではなく、パラメータを使った数式で表現している。

2.2 ユーザフォーム

本ツールは、ユーザフォーム (図 3) を用いて、使用する GIS データファイルや生成するモデルの種類、出力先フォルダ等を指定することができる。

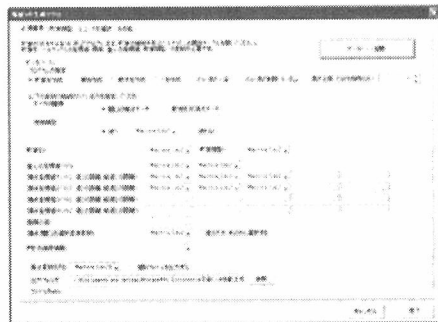


図 3: ユーザフォーム

本ツールでは、Microsoft Excel で読むことのできるすべてのデータベースファイル形式を GIS データとして使用することができる。また、各シートに記述されているパラメトリック 3D モデルは Wavefront OBJ フォーマットに準拠しており、座標値代入後の算出結果は OBJ 形式で

出力される。OBJ ファイルは形状情報のみであり、質感及びテクスチャ情報は、別途 MTL 形式のファイルに記述する必要がある。MTL ファイルも本ツールを用いて作成することができる。

3. 京町家の町並みモデルの自動生成

「京都バーチャル時・空間」プロジェクト、ならびに「日本文化デジタル・ヒューマニティーズ拠点」の研究プロジェクトでは、京都固有の町並みを仮想空間上に再現するにあたって、京町家に着目している。その理由は、近年、京町家の文化財としての評価が高まっており、京町家を含む都市景観自体が文化財として捉えられているようになってきたことが挙げられる。また、老朽化と再開発によって昔ながらの京町家の数が減少しており、その記録をデジタルアーカイブとして残すことが急務であることや、過去の京都市街地の大部分が京町家であったことも挙げられる。

3.1 間口の決定

京町家モデルを自動生成するにあたって、まず GIS データから間口の位置を決定する必要がある。GIS データには主に敷地の頂点座標と重心が記録されているが、間口の位置を特定する情報は記録されていない。しかしながら、京町家は間口が狭く、奥行きは長い。そして正面は空地をはさむことなく通りに面しているという特徴を持つ[6]。そこで以下のアルゴリズムを用いて間口の位置を決定する。

1. 道からの距離が小さいほうから 2 点 (図 4 ①, ②) を選ぶ
2. この 2 点と重心とのなす角を θ とし、 $\theta \geq 120^\circ$ かつ 2 点の距離が 1.2m 以上であれば、その 2 点により作成される線分を間口とする
3. 2. で条件を満たさない場合は、次に道との距離が短い順に頂点と①を間口の対象とする
4. 2. と 3. を繰り返し、間口を決定する

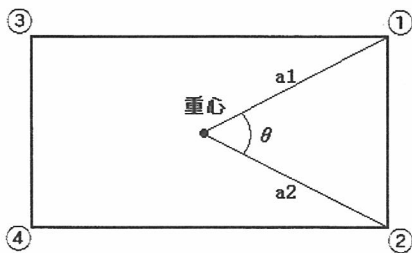


図 4：間口の決定方法

3.2 京町家モデルの自動生成

京町家は、図 5 に示すように大きく 9 つの類型 (総二階建, 中二階建, 三階建, 平屋建, 仕舞屋, 塀付, 看板建, ウダツ中二階, ウダツ平屋) にわけられる。どの敷地にどの種類の町家が生成されるかは GIS データ上に記述されており、その敷地に合った種類の町家が自動生成される。また、GIS データ上の家屋種類の値が「不明」であった場合は、ユーザが指定した類型頻度に基づいて、9 類型の中からランダムに生成される。

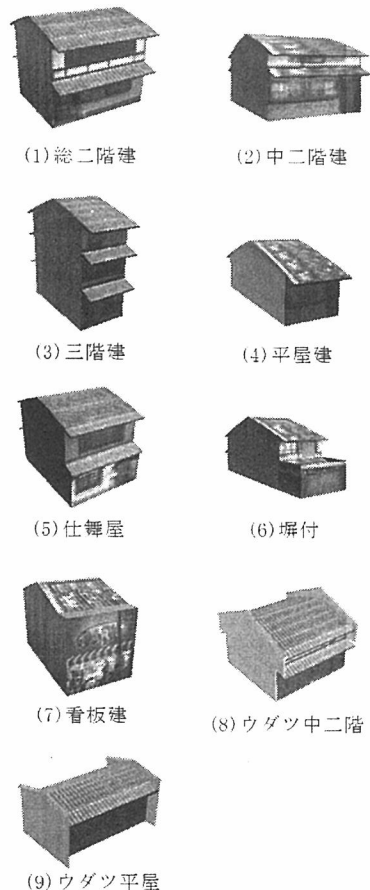


図 5：京町家のパラメトリック 3D モデル

パラメトリック 3D モデルシートに GIS データの各値を代入すると、シートの数式に基づいて各頂点を作成される (図 6)。また、同時に面の定義やテクスチャ座標の定義も行う。その後、回転・平行移動を行って、町家モデルを敷地の位置まで移動させる。

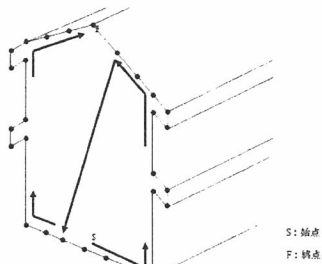


図 6：総二階建モデルの頂点の作成例

GIS データに記録されている敷地の個数分上述を繰り返して、町家の町並みモデルを OBJ ファイルとして出力する。最後に、事前に作成しておいた全モデル共通の MTL ファイルとテクスチャライブラリを追加し、京町家の町並みモデルが完成する。自動生成された町並みモデルを図 7 に示す。



図 7：自動生成された京町家の町並みモデル

4. 蔵モデルの自動生成

京町家モデルの自動生成では、京町家の特徴を生かして、通りに面した建造物を作成したが、街区の内部は何もない広場になってしまう（図 8）。しかしながら、本来敷地の内部には蔵や樹木、井戸などが存在する。そこで、敷地の内部に蔵の自動生成を行った。しかしながら、蔵に関する GIS データは存在しないため、京町家の敷地内に適当なアルゴリズムで自動配置をする。

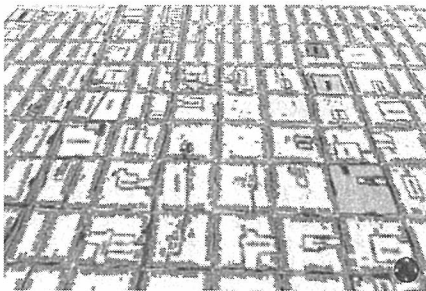


図 8：自動生成された京町家の町並み（上空）

4.1 蔵を自動生成する対象

江戸時代には間口の大きさに対して税金がかけられていたため、広い間口を持つ家庭ほど富裕だったと考えられる。そこで、敷地内部への蔵の自動生成の判断基準として、ある一定の長さ（当時の富裕層と考えられる 3 間）以上の間口を持ち、かつ奥行きが間口 2 倍以上ある京町家に対してのみ蔵を作成する。自動生成された蔵モデルを図 9 に示す。

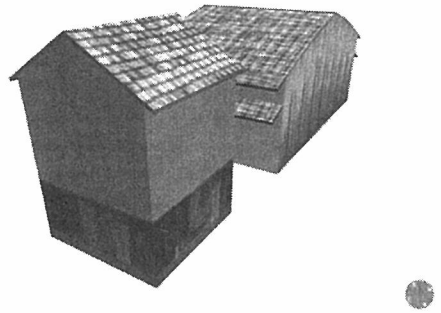


図 9：自動生成された蔵モデル

4.2 蔵の衝突回避

前節の方針で、本来の GIS データに無い蔵を自動生成・配置すると、蔵と蔵、蔵と京町家が衝突する場合があります。これを回避する必要があります。蔵は京町家に従属する形で生成されるために、京町家と蔵を覆う長方形の敷地（仮敷地）を図 10 のように新たに作成し、この仮敷地どうしの衝突判定を行う。衝突したと判断した場合はその町家に対して蔵を作成しないようにすることで衝突回避を実現した。

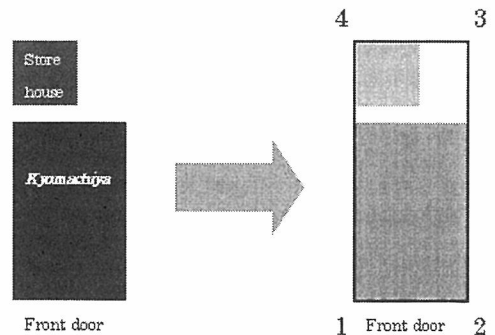


図 10：仮敷地の作成

衝突回避を行わずに蔵の自動生成を行った町並みモデルを図 11 に、衝突回避を行った町並

みモデルを図 12 に示す。

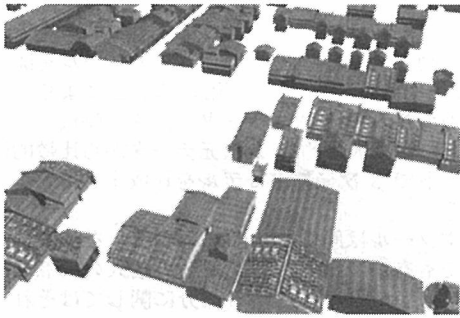


図 11：蔵を含む町並みモデル（衝突回避無）

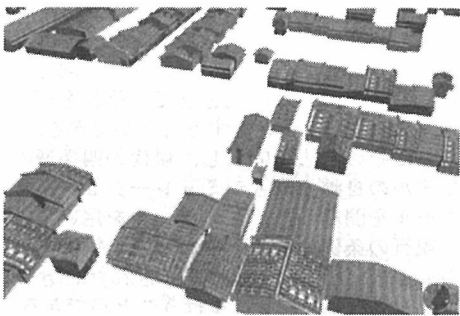


図 12：蔵を含む町並みモデル（衝突判定有）

図 11 では右上に蔵が乱雑に生成されている部分が確認できるが、図 12 ではそれが解消され、より自然な町並みになっている。

5. 四条通のビルモデルの自動生成

京町家の町並みモデル自動生成の手法を応用して、四条通のビルモデルの自動生成を行った。四条通は京都市の主要な通りの一つであり、祇園から四条烏丸まで四条河原町交差点を中心に京都最大の繁華街を形成している。本研究では、四条通の中でも八坂神社から堀川通沿いまでを作成対象としている。

5.1 間口の決定

京町家は通りに面している 1 箇所を間口として設定しているが、現代のビルモデルでは必ずしも間口が 1 箇所とは限らない。そこで図に示す四条通の中央線と敷地頂点との距離を用いて、一番近い頂点 2 点を結ぶ面と四条通に延びる縦通と一番近い頂点 2 点を結ぶ面の 2 箇所を間口とする。また、縦通からの距離が 20m より大きい場合は間口を作らないように設定する（図 13）。

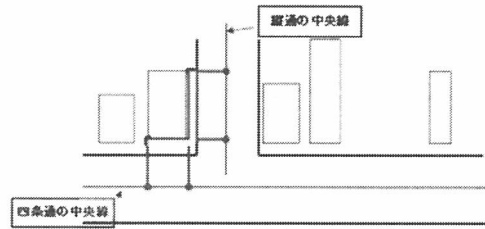


図 13：ビルの間口決定方法

5.2 新景観条例

京都では昭和 5 年に風致地区が指定され、日本でも先頭に立って景観保全に取り組んできたが、1980 年代のバブル経済期における無秩序なビル、マンションの建設によって京都らしい景観が失われてきた。そのため、関連 6 条により市街地の建築物の高さ規制が強まり、屋外広告物規制が強化された[7]。

そこで本研究では高さ規制を考慮し、ユーザがビルの高さ条件を指定できるようにすることで、様々な条件下でのシミュレーションを行えるツールを開発した。高さの設定方法としては「一定」「ランダム」「制限」の 3 つがある。自動生成対象は敷地形状が長方形のビルモデルである。

5.3 高さ一定モデル

高さ設定を「一定」にした場合は、すべてのビルの高さをユーザフォームで指定した値に統一することができる。高さ値を 20m としたときのビルモデルを図 14 に示す。

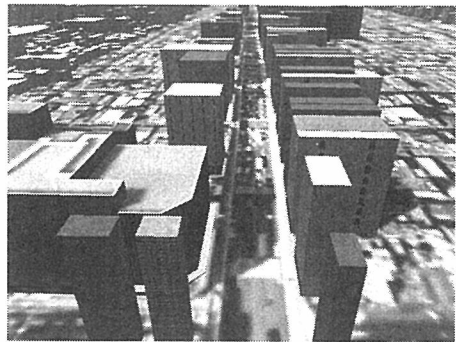


図 14：高さ一定モデル（20m）

5.4 高さランダムモデル

高さ設定が「ランダム」の場合は、敷地面積に応じて高さを決定する。敷地面積が小さい場合、ビルは低く、敷地面積が大きい場合、ビルは高いと仮定している。それぞれの敷地面積に

対するビルの高さを表 1 に示す。また、生成されたビルモデルを図 15 に示す。

表 1：高さランダムモデルでの高さ設定

敷地面積	高さ
40 m ² 以下	10m ~ 19m
40 m ² 以上	12m ~ 21m
80 m ² 以上	15m ~ 24m
120 m ² 以上	20m ~ 29m
160 m ² 以上	25m ~ 34m
200 m ² 以上	31m ~ 40m
300 m ² 以上	45m ~ 54m



図 15：高さランダムモデル

5.5 高さ制限モデル

高さ設定を「制限」とした場合も、「ランダム」の場合と同じようにビルの高さが決定される。しかし、ユーザフォームで指定した値以上に設定された場合は、ユーザフォームで指定した値と同じ高さに変更され、それ以上の高さのビルは生成されなくなる。高さ制限を 30m とし、自動生成されたビルモデルを図 16 に示す。



図 16：高さ制限モデル (30m)

6. おわりに

本研究では、家屋形状および家屋属性に関する GIS データから、町家の 3 次元モデルを大量に自動生成・自動配置する手法・ツールを開発した。これらのツールを用いることにより、現在の街並みの 2 次元データや、江戸時代の町並みといった仮想的な 2 次元データから比較的低コストで 3 次元都市モデルを作成することができる。

本ツールは歴史時代の都市モデルを作成する上でも有用である。同ツールの最大の利点は、実際のデータが存在する部分に関してはそれを考慮したモデルをつくり、存在しない部分に関しては一定の仮説のもとに仮想的なモデルを作ることができる柔軟な手法であるということである。歴史時代のデータはすべての地域や事項について完全に揃った状態で得られることはまずない。しかしこの手法を用いれば、部分的に得られるデータから仮説を立て、それを可視化し、シミュレーションを行うことができる。

さらにその手法を応用し、現代の四条通のビルモデルの自動生成とシミュレーションを行えるツールを開発した。このツールを用いることで、現行の条例の条件下での都市景観シミュレーションや、将来条例が変更されたとき等、様々なシミュレーションを行うことができる。

参考文献

- [1] 国土地理院 GIS・国土の情報,
<http://www.gsi.go.jp/gis.html>
- [2] 矢野桂司, 中谷友樹, 磯田弦 編: バーチャル京都一過去・現在・未来への旅, ナカニシヤ出版, 2007.
- [3] 大本直子, 小阪佳宏, 長谷川恭子, 田中覚: 京都の町並みと建築物の 3 次元 CG 作成とその利用, 情報処理学会・コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, pp.25-32, 2007.
- [4] 日本文化デジタル・ヒューマニティーズ拠点-グローバル COE プログラム-立命館大学,
http://www.ritsumei.jp/humanities/index_j.html
- [5] 小阪佳宏, 磯田弦, 塚本章宏, 奥村卓也, 仲田晋, 田中覚: GIS データに基づく 3 次元都市モデルの自動生成---江戸時代の京都町並み生成への応用---, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.13, No.3, pp.315-324, 2008.
- [6] ギャラリー・間 編: 建築 MAP 京都, TOTO 出版, 1998.
- [7] 京都市都市計画局都市景観部景観政策課,
<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/soshiki/9-2-1-0-0.html>