

## 古地図データに基づく江戸時代の京都町並み CG の自動生成

小阪 佳宏 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
塚本 章宏 立命館大学大学院 文学研究科	奥村 卓也 立命館大学理工学部情報学科
港 源太郎 立命館大学大学院 理工学研究科	仲田 晋 立命館大学 情報理工学部
田中 覚 立命館大学 情報理工学部	

歴史学、文学、地理学などの研究支援や、映画作成の支援のために、昔の日本の町並みをCGで再現するのが有効であることが多い。例えば江戸時代の風景を再現することで、その中で行われる伝統行事をより深く理解できる。また、時代劇の3D絵コンテ、すなわちプレビズの背景とすることもできる。本研究では、GISで取得した京都の絵図を利用して京都の昔の町並みを自動生成することを試みている。具体的には、絵図に合わせて、あらかじめ用意しておいた京町家や武家屋敷の基本パターンを適宜に選択・変形することで、町並みの簡易CGを自動生成する。また樹木や人物なども、同様にして自動生成し、町並みの仮想空間内に適宜に自動配置する。これにより、比較的容易に江戸時代の日本（特に京都）の町並みを自動生成できる。

### Automatic generation of urban 3D model of Kyoto in Edo era based on period map

Yoshihiro Kosaka Graduate School of Science and Engineering Ritsumeikan University	Yuzuru Isoda Ritsumeikan Asia Pacific University
Akihiro Tsukamoto Graduate School of Letters Ritsumeikan University	Takuya Okumura Collage of Science and Engineering Ritsumeikan University
Gentaro Minato Graduate School of Science and Engineering Ritsumeikan University	Susumu Nakata Collage of Information Science and Engineering Ritsumeikan University
Satoshi Tanaka Collage of Information Science and Engineering Ritsumeikan University	

This paper explores a method of creating large-scale urban 3D model from GIS spatial data. It is capable of creating a realistic VR model based on existing GIS data at a minimum cost. Parametric 3D models of houses are created from polygon data; fences from line data; and pedestrians and trees from point data. The method is applied to a project 'Virtual Kyoto Time-Space' in which the whole city of Kyoto of the Edo era is re-created.

## 1. はじめに

近年、都市景観計画・都市環境計画などの分野や、カーナビゲーションシステムや不動産業界での利用のために 3 次元都市モデルへの需要が高まっている。しかしながら、リアリティの高い 3 次元都市モデルを作成するには、多大なコストと時間がかかるため、3 次元都市モデルの利用は、十分な資金のある一部の企業や業界に限られる。

一方、1980 年代後半に始まる地理情報システム (GIS) 革命以降、新しい測量技術の開発や高解像度の衛星データの出現などにより、様々な地理情報が膨大に蓄積されており、2 次元データの整備はかなり進んでいる。

また、IT 革命が社会にもたらした技術革新は、人々の生活を大きく変化させた。情報伝達手段が手紙などからインターネットを介しての自宅のコンピュータなどに変貌していくことにより、より身近にバーチャル空間を利用することが可能となった。[1]

本研究では、古地図や現在の地図から GIS のデータを作成し、その GIS の空間データおよび属性データを利用して、3 次元の形状を構成することにより、3 次元都市モデルを低コストでバーチャル空間上に自動生成することを目的とする。

立命館大学における、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」[2]のサブプロジェクト「京都バーチャル時・空間」では、京都市全域の 3 次元都市モデルの作成に取り組んできた[3][4][5]。このプロジェクトでは、江戸時代の京都の 3 次元都市モデルを作成することを課題のひとつとしており、本研究手法は、この 3 次元都市モデル作成に使用した。

GIS の空間データには、樹木や人物のようにポイント (点) で表現されるもの、塀や線路のようにライン (線) で表現されるもの、そして一般家屋のようにポリゴン (面) で表現される三種類が存在する。これらの幾何学的データは実在のさまざまな地物を表現しているが、ここでは、ポリゴンの 3D 化の事例として京町家の VR モデルを、さらにラインの 3D 化の事例として塀の VR モデルを、そしてポイントの 3D 化の事例として樹木および人物を作成する。[6]

## 2. 3 次元モデル自動生成プログラム

2 次元データから 3 次元モデルを自動生成するプログラムを作成するにあたり、マイクロソフト社エクセル VBA を使用した。2 次元から 3 次元を生成するには、第 3 次元の形状情報を与えることが必要不可欠である。その形状はさまざまな長さ・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。3D モデルは、一般に 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 モデルとは、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たものである。このパラメトリック 3D モデルを記述するのに、セルを参照して値を算出するスプレッドシートは非常に適している。また、エクセルは安価で、すでに広く普及しているということは、低コストでリアリティの高

い 3 次元都市モデルを作成するという本研究の目的に最適である。

3 次元モデル自動生成プログラムは、ユーザフォーム (図 1) を用いて、GIS データから 2 次元形状を構成する座標値を取得し、さらに GIS の属性データに基づき、複数用意されているパラメトリック 3D モデルのそれぞれを記述したシートのいずれかにその値を代入する。同様に、属性データに基づき、複数用意されているテキストライブラリのなかから、適切なものを選択し、生成された 3D モデルの面に貼り付ける。この一連の流れを、都市全体にわたって繰り返すのが 3 次元モデル自動生成プログラムである。

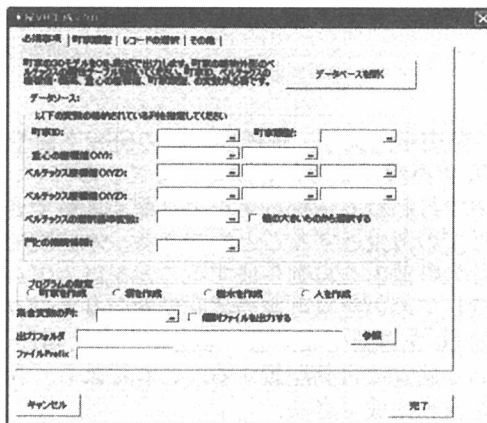


図 1 : 作成されたユーザフォーム

我々の開発したプログラムでは、エクセル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 属性データとして使用できる。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 ファイル形式である。OBJ ファイル形式は 3 次元形状を記述するためのテキストファイルであり、その単純な構造のためよく普及している。また OBJ ファイルは座標の接続情報による形状情報のみであり、質感やテキストの情報は、MTL ファイルと呼ばれる別ファイルに登録されている。3D モデルのレンダリングは、この OBJ ファイル、MTL ファイルそして MTL ファイルが参照するテキストチャ用の画像データを集めたテキストライブラリを使用して、3 次元オブジェクトを描画する。

## 3. 家屋の自動生成

### 3.1 京町家の VR モデル

前述「京都バーチャル時・空間」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ために、京町家に着目した。それは、第一に、近年の京町家の評価の高まりにより、京町家と京町家のつくる都市景観が文化財として捉えられるようになってきたこと、第二に、老朽化と再開発によって昔ながらの京町家が減少しており、保全対策もさることながら、その記録をとることが急務であるということ、第三に、過去の京都市街地では、庶民の住居であっ

た京町家はその面積の大部分を占めていたと考えられることである。[6]

現存する京町家に関しては、「京町家データベース」（立命館大学・京都市・京町家再生研究会）が整備されており、約 2 万 4 千軒におよぶ京町家の家屋形状と町家 7 類型などの属性データが GIS データとして存在する [7]。そこで、京町家 7 類型（総二階・中二階・三階・平屋・仕舞家・塀付・看板建）のパラメトリック 3D モデル（図 2）、京町家のデジタル画像を加工して作成されたテクスチャライブラリ、そして GIS の頂点座標値および家屋属性に、家屋自動生成プログラムを適用した。

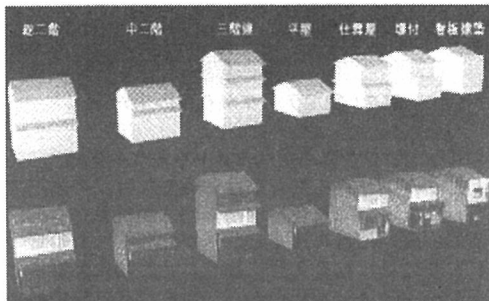


図 2: 京町家 7 類型のパラメトリック 3D モデル

### 3.2 京町家自動生成プログラムの仕様

京町家は、「うなぎの寝床」と呼ばれるほど宅地の間口は狭く、奥行きが長い。そして、建物は間口いっぱい建てられて隣家と側面を接し、正面は通りとの間に空地を設けることなく直接面しているという特徴を持つ建物である。そこで、京町家モデルを家屋形状データから作成するにあたって、まず重要なことは京町家の入り口となる間口をどこに決定するかである（図 3）。そのために、GIS 上であらかじめ頂点の属性として道との距離を算出しておき、この値が小さい順に 2 つの頂点（①・②）を選ぶ。そして、重心と各頂点とのなす角を  $\theta$  とし、 $\theta \leq 120^\circ$  かつ 2 つの頂点の距離が 1.2 以上であれば、その 2 つの頂点により作成される線分を間口とする。もし、①と②でこの条件を満たさない場合は、次に道との距離が短い③と①を間口の対象として、条件を満たすかを調べることを順次繰り返し間口を決定する。

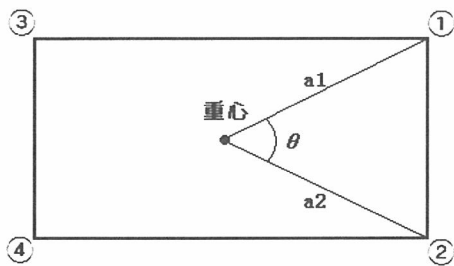


図 3: 間口の決め方

間口が決定すれば、その京町家 ID・京町家類

型・重心座標・1 つ目と 2 つ目の頂点の座標値がパラメトリック 3D モデルが記述されているシートに代入される。京町家類型が不明な時は、7 種類の京町家からランダムで選出する。そして、各シートで京町家の奥行きや高さなどを計算し、京町家を作成する。そしてこの時に、用意されたテクスチャから画像を選別する MTL ファイルを使用し、テクスチャの選択も行う。この一連の処理を敷地データ中の京町家の個数分繰り返す。このようにして京町家を含む町並みが京都市街地全域にわたって作成された [8] (図 4)。

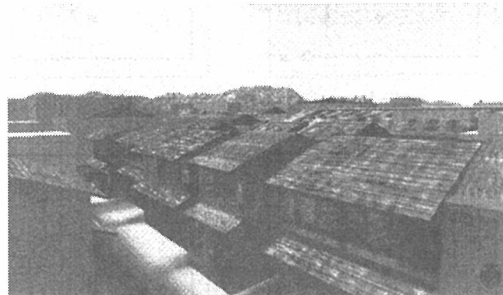


図 4: 京町家の VR モデル  
(上京区紺屋町から左大文字山)

### 3.3 非長方形の敷地に対応した自動生成プログラム

上記の手法では長方形の町家しか作成することができず、敷地に対して正確な建物を配置することができない。そこで新たなアルゴリズムを考えることで非長方形の敷地にも対応できるようにした。例えば、京都市先斗町における京町家の敷地形状データを表 1 に示す。

表 1: 京都市先斗町の敷地の頂点数による分類表

敷地の頂点	京町家の個数 (全 163 件)
4 点 (長方形)	136
5 点	2
6 点	21
7 点	1
8 点	2
9 点	1

そこで非長方形の中でも特に多い 6 点の場合に対応したプログラムを作成した。

まず、最も道に近い点を①とする。そして、①の x 座標、y 座標の各値に最も近い点をそれぞれ探し、その 2 点のうち道との距離が短い点を②とする。

(図 5(a)) 次に、②が①の x 座標、y 座標のどちらの座標を対象としたかを調べる。そして、それとは逆の座標方向で①・②の値に近い点をそれぞれ探し、その 2 点のうち距離の短い点を③とする。(図 5(b)) 同様に、③が①または②の x 座標、y 座標の

どちらの座標を対象としたかを調べ、それとは逆の座標方向で、残りの点のうち③からの距離の短い点を④とする。(図 5(c))そして、残りの点のうち、④から距離の短い方を⑤、使用されていない点を⑥とする。(図 5(d))

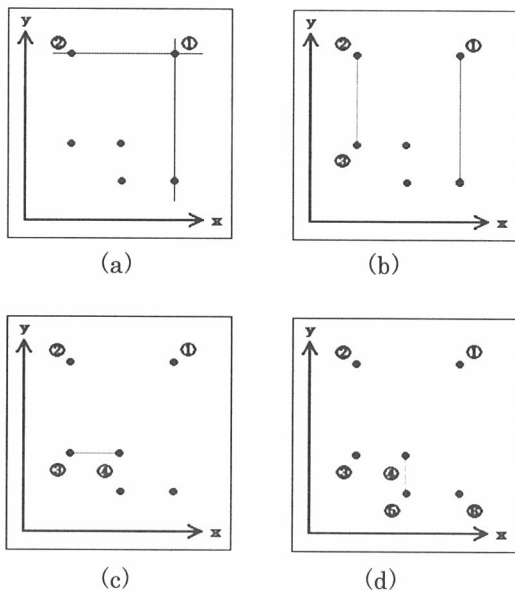


図 5：各頂点の選択方法

次に図 6 のように⑦、⑧を作成することにより敷地を二つの長方形に分割しそれぞれの敷地に対して町屋を作成し、二つ目の町屋の屋根の向きをそろえることで6点の敷地データに対応した 3D モデルを作成した。また、2つ目の町屋の間口の部分には別のテクスチャ貼るようにした。

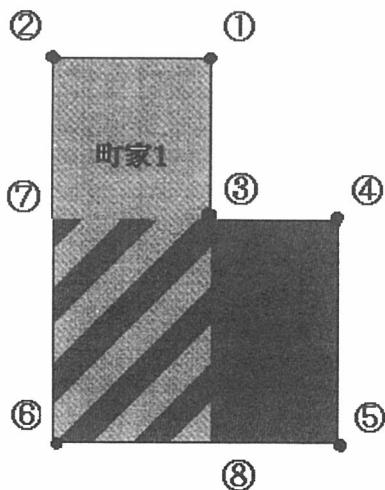


図 6：敷地を分割したときの頂点

図 7 は改良したプログラムで作成した敷地データが 6 点の京町家の図である

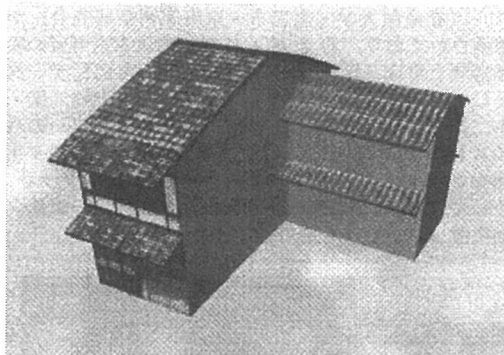


図 7：敷地データが 6 点の京町家

### 3.4 「うだつ」を含んだパラメトリックモデル

上記で作成された京町家は一般的な町民の家屋である。「紙本金地著色洛中洛外図六曲屏風」(林原美術館所蔵)に目を通すと、時が立つにつれ貧富の差が明確に見られるようになり、金銭的に余裕のある人々は「うだつ」を追加した新たな京町家の形ができていくことがわかる。「うだつ」とは隣家の火事などから、自分の家などの財産を守る防火壁の役割をしていたもので、隣の町家と連なっていた京都では非常に大きな役割をしていたと考えられる。

江戸時代の町屋は平屋と中二階が大半を占めていたので、この二つのスプレッドシートにうだつを加えた、新たなパラメトリック 3D モデルを作成した。

## 4. 塀の自動生成

### 4.1 江戸期の京都の町並み

「京都バーチャル時・空間」プロジェクトは、現在から江戸時代までの京都を再現することを課題としているが、京都全域について江戸時代の個々の家屋や敷地のデータは存在しない。しかし、洛中に関しては、江戸時代初期に作成された、精度が高く、武家屋敷、寺社、宮殿の敷地に関してはほぼ正確に特定することができる寛永 19 年 (1642 年) 頃作成の「洛中絵図」(京都大学附属図書館蔵)が存在する。ここでは、GIS データ化されたこの絵図中の町地 (図 8) に、前述の京町家モデルを自動生成し、武家屋敷などの敷地には以下に述べる塀モデルを自動生成することで、江戸時代京都の 3 次元都市モデルを作成する。[9]

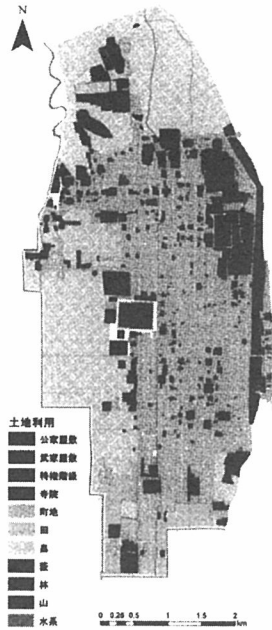


図 8: GIS データ化された洛中絵図

#### 4.2 武家屋敷の塀自动生成プログラムの仕様

塀自动生成プログラムでは、入力情報として敷地形形状の頂点座標値、塀の種類、門の有無を必要とする。まず、連続した2つの頂点座標情報を始点①と終点②とする。そして塀の高さをz座標(標高)に加えることにより③、④の頂点を作成する。そして作成された頂点を、①②④③と順に接続させて面を作成し、同様に②①③④と順に接続し、裏側の面を作成することにより一枚の壁を完成させる。この処理を繰り返すことにより、武家屋敷の敷地を囲む塀を完成させる(図9)。

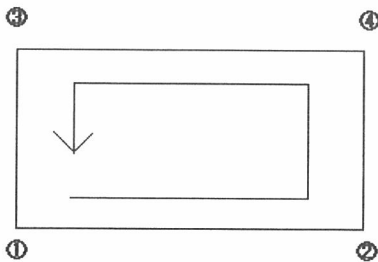


図 9: 塀の作成方法

テクスチャを貼り付ける際には一枚だけ張るのでなく、その辺の長さを計算し、テクスチャの基準長で除し、小数になった場合は切り上げた整数枚を張ることにより、画像が引き伸ばされてゆがみが大きくなる点などを解消している。

門を含む辺については、①⑥の入力データを壁の

両端とし、中点から一定の幅(ここでは1丈3.03メートルとした)を門になるように頂点②⑤⑨⑩を図10のように新たに作成し塀を分割し、門を作成した。また、門の部分は高さも変えて塀と比較して大きくなるように工夫をするために④⑦の頂点を作成し上記(図9)と同様の方法で壁を作成して表現している。

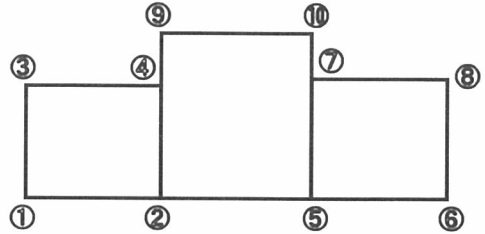


図 10: 門を含んだ塀の作成方法

門以外の部分に関しては、塀部分のテクスチャを張ることによってその部分を表現した。ここでも上記の塀を作成するときと同様に両側の辺の長さをそれぞれ計算し、整数枚張るようにしている。こうすることにより、塀の長さに関係なく一定の大きさで門を作成できるようにした(図11)。

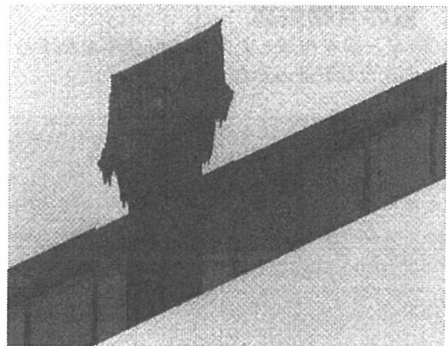


図 11: 作成された門

また、このプログラムは敷地形形状のすべての頂点座標を使うため、鋭角な部分と鈍角の部分の混在した複雑な形状の塀であっても自动生成することが可能である(図12)。

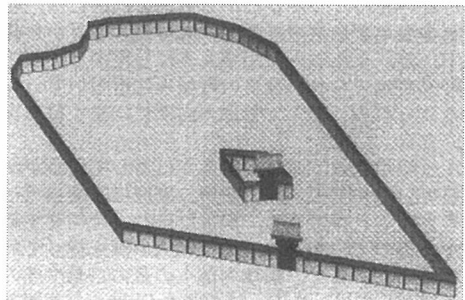


図 12: 作成された塀モデル

前述「洛中絵図」の武家地・公家地・寺社地についてはこの塀自動生成を行い、同図中の町地については大正元年発行の「京都地籍図」から合成された敷地データに家屋自動生成プログラムを適用した結果、図 13 にみられるような 3 次元都市モデルを作成した。なお、京町家のテクスチャには、江戸後期に作成された「三条油小路町東側西側町並絵巻」（京都府立総合資料館所蔵）に描かれた町家のものを使用した。

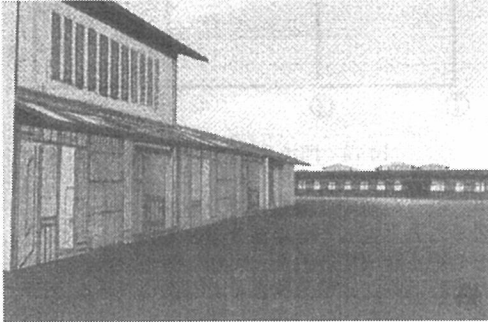


図 13：江戸時代の京町家と武家屋敷の塀

## 5. 蔵の自動生成

京町家と塀を作成した京都の町並みを見下ろすと図 14 のような町並みとなった。

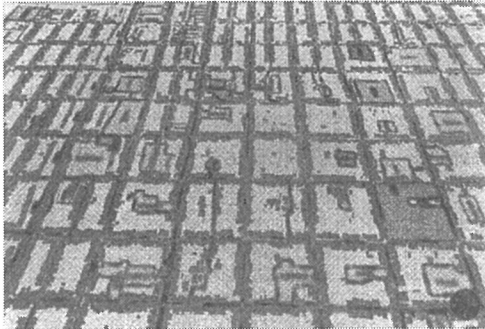


図 14：作成された京都の町並み

これにより通りに面した建造物を作成することができたといえる。しかしながら敷地の内部には、前述「紙本金地著色洛中洛外図六曲屏風」などから蔵や樹木、井戸または人口が増えるにしたがって新たな京町家が建てられ、今日の町並みに近づいていったと考えられる。そこで敷地の内部にはまず蔵を自動生成する。

江戸時代では、間口の大きさに対して税金がかかれていたので広い間口を持つ家庭ほど裕福だったと考えることができる。蔵は財産などを保管する役割があるので、裕福な家庭ほど広い蔵を持っていたといえる。そこで、敷地内部への蔵の自動生成の判断基準としては、ある一定の長さ(当時の富裕層と考えられる 5 間)以上の間口を持ち、かつ奥行きが十分

長い京町家に対して作成することにした。

作成手法としては、間口の三分の二程度の正方形の敷地に、京町家の一階部分の高さを 0.8 倍したものを 3 つ重ねて作成した。作成された蔵は図 15 のようになった。

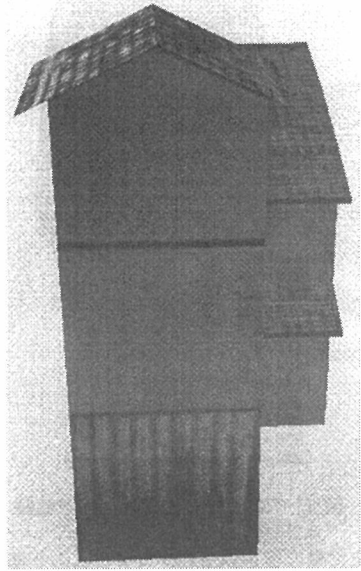


図 15：作成された蔵モデル

## 6. 人物・樹木の自動生成

以上では、建造物を自動生成したが、その結果作成された VR モデル (図 13) は生命感のない閑散とした町並みであり、歴史都市の京都でこのような状態になることは、ほとんどなかったと考えられる。そこで、より昔の町並みを精密に表現するために、ここでは GIS のポイントデータから人物や樹木の自動生成を試みた。

VR モデルに詳細を加える場合には、その数が多数になるものに関しては、いかに小さいデータ量で、リアリティの高いものをつくるかが重要である。そこで、人物・樹木に対しては、ビルボード(看板モデル)を使用した。人物・樹木の GIS データは当然存在しないが、GIS 上で空間的な確率分布を仮定し、ランダムに配置した点上にビルボードを配置することで作成した。

人物は、前述「紙本金地著色洛中洛外図六曲屏風」や「三条油小路町東側西側町並絵巻」の人物画像を切り取り、加工することでテクスチャを作成し、ビルボードに貼り付けることで表現した。また使用するテクスチャには、 $\alpha$ チャンネルを追加し透過すべき部分を指定している。

さらにリアリティ追求のために、歩行者のビルボードの向きは、道路中心線の方向との関係である一定の範囲だけランダムに回転させて決定した。

樹木のビルボードは与えられたポイントデータから十字に組んだビルボードを作成し(図 16)、使用するテクスチャには、人物の時と同様に  $\alpha$ チャンネルを

追加したものを使用することにより、樹木の部分のみ表示されるようにした。

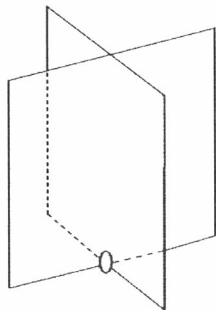


図 16: 樹木の作成方法

また、ビルボードの回転角と、高さにそれぞれ別の乱数を用いることにより、10 種類程度のテクスチャで多様な樹木を表現することが可能となり、画一的な印象を避けるような工夫がされている(図 17)。<sup>[10]</sup>

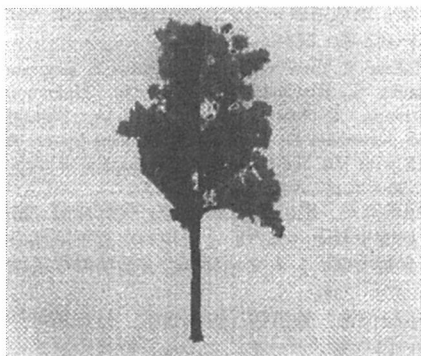


図 17: 作成された樹木モデル

## 7. ランドマークの作成

GIS のデータからの自動生成により町の景観を復元することが本研究の目的であり、おおむね達成できたといえる(図 18)。

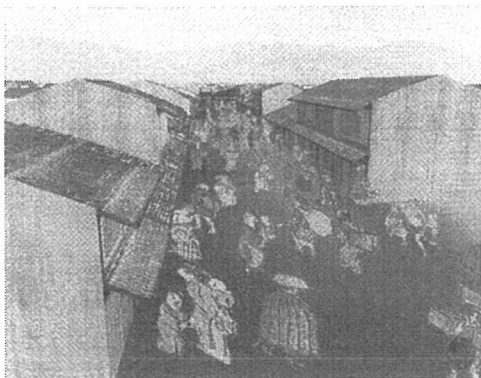


図 18: 再現された江戸時代の四条通

しかし、より現実的な景観を復元するためには、東寺五重塔や今は焼失して存在しない二条城天守閣などのランドマークの役割を果たしていた代表的な建造物を作成する必要がある。これらの建造物は簡単に概形を作るのではなく、設計図をもとに詳細に作りこむことで、より現実的な当時の景観を再現した(図 19)。



図 19: 復元された二条城天守閣と洛中の町並み景観

## 8. おわりに

本研究は、家屋形状および家屋属性に関する GIS データのポリゴンデータから家屋や蔵の、ラインデータから塀の、そしてポイントデータから人物や樹木の VR モデルを大量に自動生成・自動配置する「3次元モデル自動生成プログラム」を開発した。このプログラムを用いることにより、現実の復元された、または仮想的な 2 次元データから、比較的低コストで 3 次元都市モデルを自動で生成することができる(図 20)。



図 20: GIS データから作成された町並み

歴史時代の都市モデルを作成する上でのこの方法の最大の利点は、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、存在しない部分については一定の仮説のもとで仮想的なモデルをつくることのできる柔軟な方法である点である。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そろった状態で得られることはまずない。そこ

で、絵画などの歴史資料などを基に、部分的に得ることができる量的または質的データから仮説を構築し、この方法を用いてその仮説を可視化することが可能になり、樹木の密度分布や、絵画資料を変更して作成した別の仮説も、パラメータを変更し、テクスチャを張り替えたりするだけで同様に可視化することも可能なので色々な仮説を比較するのが容易である。

また、この方法を用いることは、これまで 3DCG クリエイターのみで行っていた 3D モデル作成を、現地調査、写真撮影、画像処理、GIS トレーシング、3DCG モデリング、プログラミングなどの工程に分解することができ、情報科学、歴史学、地理学、建築学、などの多くの専門分野に分業することができる。そうすることにより、各分野の専門的知識や技術を最大限に活用し、より現実に近い VR モデルを効率よく作成することが可能となる。

さらに、本研究で作成された江戸時代の京都の町並みは、MR システムなどを用いることにより時代劇などの舞台として使用することも可能であり、またエンタテインメントだけでなく歴史学の研究など様々な学術分野にも十分活用できると考えられる。

本稿で紹介した事例は、「京都バーチャル時・空間」プロジェクトのために特別に用意された GIS データを用いて江戸時代の町並みを再現したが、現在については GIS データの整備がかなり進んでおり、リアリスティックな 3 次元都市モデルを作成する上では、現実的で費用対効果が高い方法であることを確かめることができた。また二次元データがあれば、一般的な地物のパラメトリック 3D モデルを作成することにより、過去の景観復元のみならず、未来の景観予測図作成も可能であり、時代や場所を選ばず、広く応用可能である。

## 参考文献

- [1] 矢野桂司, 「デジタル地図を読む」, ナカニシヤ出版, 2006.
- [2] 立命館大学「京都アート・エンタテインメント創成研究概要」  
<http://www.arc.ritsumei.ac.jp/coe/index.html/>
- [3] 矢野桂司・磯田弦・中谷友樹・河角龍典・松岡恵悟・高瀬裕・河原大・河原典史・井上学・塚本章宏・桐村喬「歴史都市京都のバーチャル時・空間の構築」日本地理学会第二機関誌創刊準備号(第1巻0号), pp.12-21, 2006.
- [4] 矢野桂司・中谷友樹・磯田弦・河角龍典・高瀬裕・河原大・井上学・岩切賢・塚本章宏, 「京都バーチャル時・空間」「東洋学へのコンピュータ利用」研究セミナー論文集, 47-56 頁, 2004.
- [5] 立命館大学文学部地理学科 COE 概要  
<http://www.ritsumei.ac.jp/acd/cg/lt/geo/coe/>
- [6] 磯田弦, 「二次元と三次元の橋渡しー京都バーチャル時・空間における京町家モデルー」立命館大学 593 号, pp.138-153, 2006.
- [7] 矢野桂司・河原大・磯田弦・中谷友樹・宮島良子「GIS を用いた京町家モニタリングシステムの構築」地理情報システム学会講演論文集 vol.13, 459-462 項, 2004.
- [8] Takase Y, Yano K, Nakaya T, Isoda Y, Kawasumi T, Tanaka S, Kawahara N, Inoue M, Tsukamoto A, Kirimura T, Matsuoka K, Sone A, Shiroki M, and Kawahara D, "Kyoto Virtual Time-Space: A 4D-GIS with VR and Web3D Technologies" Ritsumeikan University, pp.38-42, 3/3/2006.
- [9] 塚本章宏, 磯田弦, 小阪佳宏, 矢野桂司, 田中覚「絵画史料と GIS/VR とを用いた近世京都の町並み景観復元」, 人文地理学会大会研究発表要旨, 26-27p, 2006.
- [10] 小阪佳宏, 磯田弦, 塚本章宏, 矢野桂司, 仲田晋, 田中覚「データによる江戸時代の京都の町並みの自動生成」, 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, pp.263-266, (CD-ROM), 2006.