

二次元と三次元の橋渡し

京都バーチャル時・空間における京町家モデル

磯田 弦

はじめに

立命館大学文学部地理学教室が担当した文部科学省21世紀COEプロジェクト「京都アート・エンタテインメント創生研究」(平成14年度～平成18年度)のサブプロジェクト「京都バーチャル時・空間」では、現在から過去にわたる京都市全域の三次元都市モデルを作成することが課題であった。この三次元都市モデルは、現存するあるいは復原された都市そのもののデジタルアーカイブとして、また同COEプロジェクトにおいて整理・作成されている様々なデジタルアーカイブ、データベースおよびコンテンツを配置する器として、使用されることになっている。

本稿は「京都バーチャル時・空間」プロジェクトが、現在から過去にわたる都市を再現・復原する上で、最も重要な要素としてきた京町家に関する三次元モデル作成の方法と過程の詳細を記録するものである。極めて技術的な内容であるが、都市の「デジタルアーカイブ」と呼べるものを作成する上で、何を根拠に何が考慮されているかを明示しておくことの必要性のために本稿は書かれた。

「京都バーチャル時・空間」プロジェクトでは、多時点における三次元都市モデルの作成するにあたり、まず現在の都市を再現するモデルを作成し、新しい地物を古い地物に置換することにより、過去の都市を復原するというアプローチをとった¹⁾。第二次大戦の戦災をほとんど受けていない京都には、数多くの神社、寺、そして戦前の近代建築などの文化財的価値の高い建築物が現存しているが、その中でも「京都バーチャル時・空間」はとりわけ京町家に着目した。それは、第一に、近年の町家の再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、その面積の大部分を町家が占めていたと考えられること、である。個々に文化財的価値の高い寺社建築や近代建築に関しては、建築史学などのより専門的な分野があり、個よりもその集合体のつくる町並み景観がいっそう重要な京町家については、地理学の分野で取り上げるべき問題と判断された。

現在の京都の三次元モデルを作成する材料として、次の3つが用意された。

(1) MAPCUBE™：現在の京都の三次元モデル基盤データとして採用したMAPCUBEは、飛行機に設置したレーザープロファイラから取得された(株)パソコのLiDARデータと、インクリメントR(株)の家屋形状に関するGISデータを用いて、(株)キャドセンターが作成した三次元都市モデルである²⁾。MAPCUBEデータは、空中写真をテクスチャーとして貼り付けた地表面モデルと、テクスチャーが貼られていない建物モデルからなっている他、重要な建物に関してはテクスチャーの貼られた建物モデル(ランドマーク・シリーズ)が適宜作成されている。MAPCUBEデータは、屋上の塔屋などもモデル化されており、京都市のほぼ全体をカバーする最も精緻な3D形状データである

が、一般の建物に関してはテクスチャーが貼られていない通称「白モデル」であるということ、高層ビル以外の一般家屋も平らな屋上で表現されているなどの欠点がある³⁾。都市モデルをより現実に近づけるためには、より詳細な3Dモデルに置換する必要がある、中でも京町家のモデル化が優先的課題とされた。

(2) UrbanViewerTM：広域にわたる多数の3Dオブジェクトの描画と表示は、計算機に多大な負荷を与える。UrbanViewerは数ある3D表示ソフトの中でも、大規模な三次元都市モデルを効率的に処理する工夫のなされたビューワーである。UrbanViewerはユーザーの視点からモデルまでの距離を計算し、設定された距離の閾値にもとづいて、描画するかしないかを決定することにより、計算機への負荷を軽減する。京町家モデルはこのビューワーで表示することを念頭に作成された。

(3) 京町家データベース：京町家の台帳作りに関しては、三村(1991)⁴⁾による京都都心部の京町家の先駆的な調査に始まり、平成7・8年度市民調査「木の文化都市：京都の伝統的居住作法と様式に関する研究」(トヨタ財団による調査)⁵⁾、京都市平成10年度「京町家まちづくり調査」⁶⁾へと、調査対象地域を拡大しつつ継承されてきた。京町家データベースは、蓄積された京町家外観調査のデータを、立命館大学文学部地理学教室がNPO法人京町家再生研究会より譲り受け、GISデータ化したものである⁷⁾。上記一連の調査では、京町家の定義を、戦前に建てられた木造建築のうち、7つの町家類型⁸⁾に当てはまるもの、としており、京町家データベースにおける京町家の定義もこれに準拠している。平成16年度に行われた立命館大学・京都市合同の京町家第II期調査を経て、京町家データベースには、都心4区のうち明治後期に市街化されていた地域(1,898 ha)内のすべての京町家の外観上の特徴と家屋形状が記録された⁹⁾。京町家モデルは、モデルをより現実に近いものにするために、京町家データベースの家屋形状と町家類型のデータを使用している。

京町家データベースによれば、平成10年時点で約28,000軒の京町家が存在しており、その全てを精緻にモデル化することは当初より不可能であることは歴然としていた。また、現実的問題以外にも、それぞれに居住者をもつ町家を正確にアーカイブすることには、プライバシー侵害などの法的問題に対する懸念があった。このため、京町家モデルは集合体としての特徴を備えた限りなく現実に近いものを作成することを目標に、自動生成のアプローチがとられた。この目的のために、家屋VR生成マクロは開発された。

次の章では、データから家屋を自動生成・自動配置する「家屋VR生成マクロ」の構造を説明し、第4章では現在および過去の京町家モデル作成上のデータソースと工夫について述べる。第5章では、「家屋VR生成マクロ」を応用して、家屋以外の地物の3Dモデルを作成する方法を考察し、最終章ではこの方法の意義を述べて締めくくる。

．家屋VR生成マクロ

1．概 略

京町家の3Dモデル作成を念頭に家屋VR生成マクロを開発するにあたり、次の4点を考慮する必要があった。第一に間口に関して、町家は街路に接し、隣の家屋とほとんど接するように建設されているため、広い庭付きの住宅の場合のように、プロトタイプモデルを複製して敷地の重心に配置するということではできない。敷地の間口側を判定し、そこを基準として間口幅に関して調整したモ

デルを配置する必要がある。第二に奥行きに関して、町家は「うなぎの寝床」として知られるように、一般に奥行きの長い敷地に建設されていることが多い。ただし、平安京の条坊を起源にもつ約1町(109m)四方の街区に見られる典型的な両側町でも、街区の端では奥行きが短く、中央部では奥行きが長い敷地になっていることが一般的であるし、後世の分筆によって奥行きの短い敷地も混在するなど、町家の奥行きはさまざまである。したがって、奥行きに関しても、調整できる必要がある。第三に高さに関して、町家には類型として総二階と中二階など異なる高さのものがあるが、同じ類型の場合でも、隣り合う町家は高さが互い違いになるように作られていることが多い。したがって、個々の町家の高さに変化をもたせる必要がある。そして最後に、減少しているとはいえ京町家の数は多く、京都全域で特定されているすべての京町家の3Dモデルを作成するには、データ容量の小さいモデルを自動生成、自動配置するようなプログラムが必要である。

間口・奥行きに関して、家屋形状と一致させるだけならば、プロトタイプモデルを相似変換して配置すればよいが、傾斜をもった屋根をもつ家屋の場合は、屋根の傾斜(町家の場合は約40%の勾配を持つ)を一定に保つ必要があるため、単純な相似変換は使えない。平入り屋根をもつ町家の場合には、奥行きが長くなると棟高が高くなるという関係があるが、軒高は奥行きとは無関係である。このため、間口・奥行きについては家屋形状に応じて自由に变化させられるが、軒高と屋根傾斜を一定に保つように、パラメトリックな3Dモデリングが必要である。

家屋VR生成マクロは、マイクロソフト社エクセルVBAで書かれたプログラムで、家屋形状と家屋属性に関するGIS属性データ、パラメトリック3Dモデル、および3Dモデルに対応するテクスチャライブラリーから、3Dモデルを生成する。GIS属性データは、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使用することができる。パラメトリック3Dモデルは、各家屋類型ごとにエクセルワークシート上にWavefront OBJファイル形式で記述されている。テクスチャライブラリーは、各パラメトリック3Dモデルの部位ごとの画像ファイルで、部位ごとの記号とバリエーション番号をもった体系的なファイル名を持っている必要がある。実行には、フォームが用意されており、GIS属性データと各種データが格納されたフィールド名と出力先と出力ファイル名接頭辞を指定することができる(第1図)。



第1図 家屋VR生成マクロのフォーム

2. GIS 2Dデータ

家屋形状に関するGISデータからは、家屋形状と家屋属性のうち家屋類型を必要とする。京町家データベースはESRI社shapeファイル形式で管理されているが、shapeファイル形式の属性テーブルはDBFファイル形式であり、エクセルVBAを使った家屋VR生成マクロから直接読むことができる。ただし、家屋形状の特性を属性としてDBFファイルに算出しておく必要がある。家屋VR生成マクロで必要とする家屋形状に関する情報は以下のとおりである。なおこれらの情報をESRI社のGISソフトウェアArcGISで取得する方法は注に掲載した。

- (1) 家屋重心座標値 (X, Y) : 家屋重心は家屋の向きを判定する際に用いる。このため、属性テーブルに投影座標面上の座標値(X,Y)を用意する¹⁰⁾。
- (2) 家屋形状頂点座標値 (X, Y, Z) : 家屋形状をマクロに伝えるためには、家屋形状ポリゴンの頂点座標の一覧を作る。そのために、家屋形状ポリゴンを家屋形状の頂点ポイントデータに変換し、各頂点の座標値 (X, Y, Z) を属性テーブルに用意する¹¹⁾。なお、ポリゴン - ポイント変換で、家屋IDを維持すれば、各頂点がどの家屋に属しているものを判別できる。
- (3) 頂点選択変数 : 家屋モデルを配置するためには、家屋形状の正面(間口側)を判定しなければならないが、この判定は家屋VRマクロ内で行うため、間口側を判定するための情報が必要であり、これが頂点選択変数である。例えば、街区境界に最も近い辺を間口側であると判定することとする場合には、各頂点の街区境界までの距離を、家屋形状頂点データの属性として用意する¹²⁾。この場合、マクロは頂点選択変数がもっとも小さい値をとる頂点を、間口の左右いずれかの端点であると判断する(もう一方の端点はマクロ内で検索される)。なお、家屋形状の間口側の特定をあらかじめGIS上で行っておくことも可能である。
- (4) 集合変数 : 多くの家屋の3Dモデルを家屋単位で出力すると、ファイルの数が膨大になり、ファイル管理が面倒になる。また、このプロジェクトで使用している3D表示ソフトUrbanViewerは効率的描画のために、視点から3Dモデルファイルの位置までの距離計測を行うが、モデルファイル数が増えると、3D表示に時間がかかってしまう。このため、3Dモデルは空間的なまとまりの単位で集合させる必要がある。このため、各家屋が属する地域のIDを用意する¹³⁾。

なお、マクロによって生成されるモデルは実寸大であるので、用いられる座標値は投影座標値である必要がある。京都バーチャル時・空間では、平面直角座標第6系(旧測地系, 単位メートル)を用いており、標高値の単位もメートルである。

3. パラメトリック3Dモデル

二次元から三次元への橋渡しをするためには、第三次元目がどのような形状になるかという情報が不可欠である。家屋VR生成マクロは、内部に家屋類型ごとの3Dモデルの規範になるものを内蔵している。3Dモデルとは、一般に三次元の頂点群によって定義される面で構成されるが、この頂点群の座標値を具体的な数値ではなく、パラメーターを使った数式で表現したものが、パラメトリック3Dモデルである。パラメトリック3Dモデルを記述するための一般的なファイル形式が存在しないため、家屋VR生成マクロでは、エクセルのワークシートに頂点の座標値に関する数式を記述し、Wavefront OBJファイル形式の3Dモデルを出力できるようにした。OBJファイル形式は三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おり、UrbanViewerでもサポートされている。

OBJファイル形式にはさまざまな異型があり、3DCG表示ソフトによって対応しているコマンドが異なるが、基本的な構造は以下のようになっている。

```
# OBJ file contents
# (1) vertex coordinates
v x1 y1 z1
v x2 y2 z2
```

```

v x3 y3 z3
v x4 y4 z4

# (2) texture coordinates
vt 0.0 0.0
vt 1.0 0.0
vt 1.0 1.0
vt 0.0 1.0

# (3) faces
mtllib filename.mtl
usemtl texture1
f -4/-4 -3/-3 -2/-2 -1/-1

```

(1) モデル頂点の座標値を定義する `v` から始まる行には3つの座標値を記述する。座標の割り当ては、CGモデリングソフトや表示ソフトによって異なるが、UrbanViewerではx軸が東方向、y軸が垂直方向、z軸が南方向なので、座標値の順番と数値の正負に関して注意が必要である。

(2) テクスチャー頂点を定義する `vt` から始まる行には、テクスチャー（画像ファイル）上の座標値を、u軸（右方向）とv軸（上方向）に関してはそれぞれ0～1の小数値で与える。

(3) 面を定義する `f` から始まる行には、スラッシュ(/)でモデル頂点とテクスチャー頂点が組みになって記述されており、前述の例ではスペースに区切られた4つの頂点組によって、テクスチャーの貼られた（三次元の）四角面が定義される（そのためには、4つのモデル頂点が、平面状に乗っている必要がある）。頂点は、`f`行からの相対的位置によって指定されており、`'-4/-4'`はその`f`行から4つ前のモデル頂点（すなわち一番初めの`v`行の頂点）と4つ前のテクスチャー頂点（すなわち一番初めの`vt`行）の組を意味する。現実と違って、3Dモデルの面は、正面からは見えるが反対側からは見えないようになっている。面が見える側を正しく定義するには、正面から見て反時計回りになるように、`f`行の頂点組を並べなくてはならない。各面にどのようなテクスチャーをどのような色調で貼り付けるかに関しては、マテリアルファイル（拡張子.mtl）とよばれる別のテキストファイルによって定義される（詳細は後述）。OBJファイルには、どのマテリアルファイルを使うかを`mtllib`につづく任意のファイル名で指定し、そのマテリアルファイル中のどのマテリアルを使うかを`usemtl`につづく任意のマテリアル名で指定する。

(4) シャープ記号（#）から始まる行はコメント行である。

家屋VR生成マクロでは、以上のOBJファイル形式に従うパラメトリック3Dモデルを、各家屋類型ごとにエクセルシート上に記述し、各エクセルシートのヘッダーにモデルのパラメータを代入できるようにした。マクロは、GISデータの各パラメータを、各エクセルシートのヘッダーに代入することによって、モデルを生成する。

4. テクスチャー

家屋VR生成マクロによって生成される3Dモデルには、実在する家屋のデジタル写真を貼り付

ける。このためには、デジタル画像を3Dモデルの部位ごとに切り抜いて正規化したものを用意する必要がある¹⁴⁾。使用可能な画像ファイル形式は、表示ソフトに依存するが、BMP、JPEG、TIFFなどの一般的なものは通常使用できる¹⁵⁾。

OBJ形式の3Dモデルにテクスチャーを貼り付けるには、マテリアルファイルとよばれるテキストファイル（拡張子.mtl）を、OBJファイルと同じフォルダに用意しておく必要がある。

```
# material file contents
newmtl texture1
map_Kd ../texture/tex1.tif
Ka 0.5 0.5 0.5
Kd 0.8 0.8 0.8
Ks 0.5 0.5 0.5
d 1.0
```

- (1) newmtl 行はOBJファイル内で参照するテクスチャーの名前を宣言するものである。
- (2) map_Kd 行には、使用するテクスチャーの画像ファイルをフルパスあるいは相対パスで指定する。この行を省くすると、下(3)の指定にもとづく色が表示される。
- (3) Ka・Kd・Ks 行には、それぞれテクスチャーの環境光・分散光・反射光の特性をRGB各値について0～1の小数値で指定する。
- (4) d行には、テクスチャーの不透過度を0～1の少数値で指定する。
- (5) シャープ(#)ではじまる行はコメント行である。

このテクスチャーに関する一連の定義を、3Dモデル各部位について定義する。大量の3Dモデルを配置する場合には、単一のテクスチャーのセットのみを使うと画一的になるので、各部位ごとに複数のバリエーションを用意することが必要である。家屋VR生成マクロは、モデル各部位のテクスチャーのバリエーションをランダムに割り当てることも行う。

5. マクロ

家屋VR生成マクロは、以上の材料をもとに、家屋の3Dモデルを大量に自動生成・自動配置する。マクロを起動すると、第1図のフォームが呼び出され、まずGISの属性テーブル（DBFファイルを開いた後に、家屋ID、家屋類型、重心の座標値、家屋形状頂点の座標値、頂点選択変数、集合変数の格納されたフィールド（列）を指定できる。また、モデルの出力先フォルダとモデルファイルの接頭辞を指定する（モデルファイル名は、接頭辞に集合変数を繋げたものになる）。「完了」ボタンを押すと、GIS属性テーブルの各レコードを読み、以下の演算を行い、モデルを出力する、という反復が始まる。

(1) GIS属性テーブルのソート

マクロは、まず参照されたGIS属性テーブルを、集合変数・家屋ID・頂点選択変数について、並び替える。これにより、属性テーブル内の家屋形状頂点は地域別・家屋別にまとまって並び、間口のいずれかの端になる頂点が、各家屋IDの先頭に出てくる。

(2) 間口の特定

属性テーブルには、家屋形状の各の頂点が1レコードになっているが、この中から間口の両端点を選択する必要がある。間口の片方の頂点(第1頂点)には、頂点選択変数が最も小さい頂点(最も街区境界に近い頂点)を選択するが、間口のもう片方の頂点(第2頂点)は、次の条件を満たすものが見つかるまで、検索する。

条件1: 第1頂点と第2頂点との距離(間口)が1.2m以上

条件2: 第1頂点・第2頂点と家屋重心のなす角が120度以下

条件1は、パラメトリック3Dモデルで、間口1.2m以下の家屋を想定していないために設けてある。条件2は、角地の家屋について、間口の第2頂点が、角地の異なる辺を選択してしまうことを制限するために設けてある。この条件を省くと、家屋形状の対角線上に間口がつけられるような問題が生じることがある。マクロは、以上の二つの条件を満たす頂点が見つからない場合、モデルを作らない。

(3) パラメトリック3Dモデルへの値の代入

間口の両端が検索されれば、その家屋の家屋類型に対応するパラメトリック3Dモデルに値を代入する。代入される値は、家屋重心座標値、二つの間口頂点の座標値、とランダムな値である。現行のマクロでは、間口端点の左右(家屋の向き)、間口長、奥行き、は代入された各座標値にもとづいてパラメトリック3Dモデル内で算出される。ランダムな値は、高さのランダム成分やテクスチャーの割り当てなどに用いられる。

(4) モデルのテキストへの書き出し

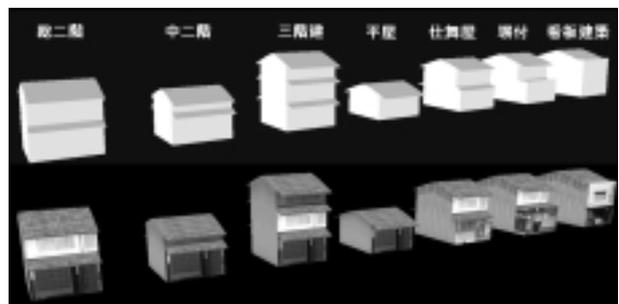
各家屋の3Dモデルは、集合変数ごとにテキストファイルに書き出され、所定のファイル名が付けられる。

以上のように家屋VR生成マクロは、OBJファイル形式の単純さとスプレッドシートの機能を利用し、比較的簡単なプログラム言語であるVBAを使って書かれている、極めてシンプルなプログラムである。しかし、エクセルの制限により、65,536レコード以上のレコードは読めないために、大量の家屋を処理する場合には、あらかじめデータベースを分割するなどの前処理が必要になる。

・京町家モデルの作成

1. 京町家モデル

現在の京町家の三次元モデルを作成するにあたり、京町家データベースからは、家屋形状と町家類型データを使用した。また、京町家の設計図¹⁶⁾を参考にして、7つの町家類型に対応するパラメトリック3Dモデルを筆者が作成した(第2図)。京町家モデルのテクスチャーには、平成15年度に行われた立命館大学地理学教室の大学院生による京町家調査の際に撮影された写真を用いた。収集された京町家の写真は、町家類型と間口の大きさに関して分類されたのち、モデルの各部位(面)に対応するよう



第2図 京町家のパラメトリック3Dモデル
形状モデル(上)にテクスチャーを貼ったもの(下)

に、オルソ化され、切り出され、所定のファイル名がつけられた。以上の材料から、第3図にあるような京町家のモデルが、京都市全域について作成された¹⁷⁾。町家前面のテクスチャーには、一階部分と二階部分にそれぞれ10通りずつ用意したが、それぞれにランダムに貼り付けられるため、100通りの町家前面ができ、十分な多様性がある。看板建町家の前面部も10通り用意したが、看板建築は個性的であるということと、前面部が一枚のテクスチャーでできているために、現行モデルではやや繰り返しが目立つ。

現在の京町家モデルを作成する上で、次の二つの工夫を追加した。まず、間口7.7m以上の町家に幅の狭いテクスチャーが貼られないように、パラメトリック3Dモデル内で参照するマテリアルファイルを切り替えるようにした。また、都市計画図にもとづいている京町家データベース中の家屋形状ポリゴンは、家屋が連続している場合には複数棟がまとめられていることが判明したため、データベース中の家屋形状の奥行きが深くても、中二階町家の場合は奥行き12m、その他の町家の場合は奥行き8mを大きく超えた家屋モデルを作成しないようにモデル奥行きを制限した。

2. 昭和期の景観変遷

家屋VR生成マクロは、昭和期以降の京町家による市街地景観の変遷を再現することにも使用された¹⁸⁾(第5図)。空中写真から町家を判別する方法¹⁹⁾を用いて、1928 - 2000年間の6時点の町家の家屋形状のGISデータを作成し、各時点に京町家を自動生成した。空中写真からの判別では、町家の類型までは分からないために、町家の類型は現在の類型の頻度にもとづいてランダムに当てはめた。家屋VR生成マクロには、家屋類型をランダムに当てはめる際の確率を設定するためのフォームも用意されている(第4図)。ところが、当初ランダムに町家類型を当てはめた複数年次の京町家モデルを別々に作成して、経年変化を三次元でビジュアライズした際に、同じ場所にある町家の類型が、各時点に次々にかわっていくという非現実的な結果が生じた。そこで、位置に依存するランダム関数を定義して、家屋類型、高さ、テク



第3図 祇園町南側から東山を望む

自動生成したモデル(上)と実際の写真(下)、地面および背景はMAPCUBEの地表データである。

町家種類(%)	値
①中一階	40.5
②中二階	19.3
③三階建	0.5
④千畳建	9.3
⑤仕舞屋	5.7
⑥櫓付	4.5
⑦その他	10.4

第4図 町家類型のランダム割当のフォーム

スチャーをランダムに当てはめる場合でも、同じ場所の家屋には常に同じものが選択されるようにした。位置に依存するランダム関数

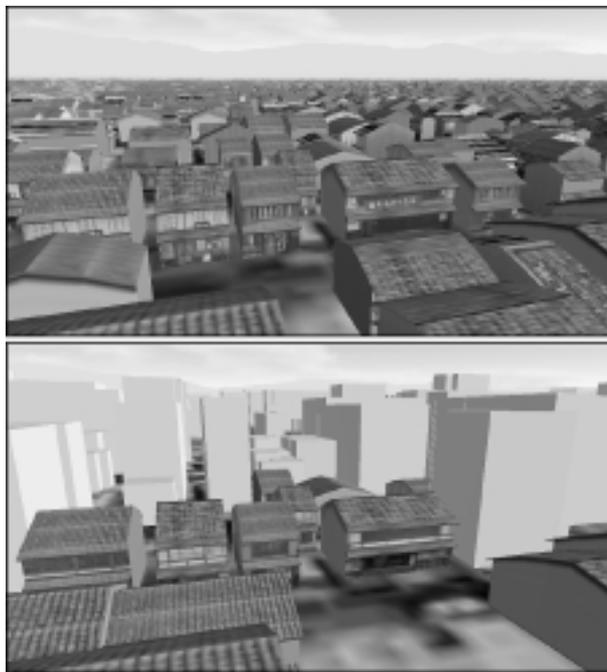
$RandLoc(X,Y)$

は、引数として（家屋重心などの）二つの座標値をとり、この二つの数値の下1桁から0 - 99の数値を発生させるものである。座標値の下1桁は通常有効数字ではなく、ランダムな数字としてみなせることを利用している。

3．大正期の町家

大正期の町並み景観を復原するために、大正元年の「京都地籍図」をトレースすることによって作成されたGISデータ²⁰⁾の敷地形状に対し、家屋VR生成マクロで町家を生成した。これに関しても、町家類型は不明なため、先の例と同様の方法でランダムに当てはめたが、大正元年時には看板建築はなかったと考え、看板建築に割り当てられる確率を、中二階に割り当てられる確率に移転した。また、テクスチャーには、現在のものと同様のものを使用した。現在の町家には冷房の室外機などの大正時代にはなかったものがあるため、画像をレタッチして消去した。

ところで、大正元年「京都地籍図」データは敷地形状であり、地籍の分筆も進んでいないことから、家屋VRマクロが依拠した形状データは、奥行きが非常に深い。マクロは街路に面した棟しか生成しないために（第6図からはわからないが）街区の内部はまったく建物が無い。町家は敷地奥に複数の棟からなっているのが一般的であるため、敷地の奥行きに応じて別棟や蔵を生成するアルゴリズムを、立命館大学情報理工学部田中覚研究室と共同で開発中である（第7図）。



第5図 昭和の景観変遷：1928年(上)と2000年(下)
山並みと地面はMAPCUBEデータである



第6図 大正元年「京都地籍図」上に自動生成した町家



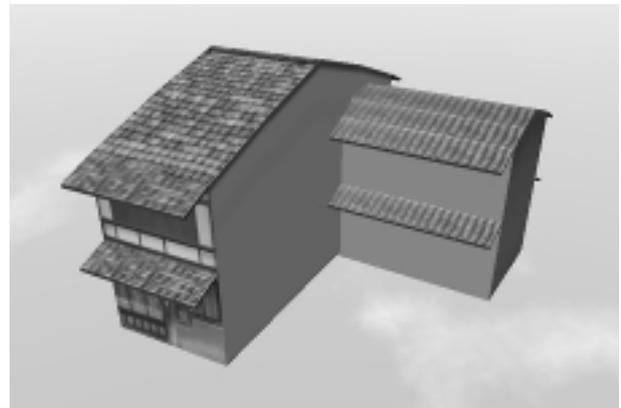
第7図 敷地奥に別棟を生成させた町家
(提供：立命館大学情報理工学部田中覚研究室)

4．江戸期の町家

「京都バーチャル時・空間」プロジェクトは、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、江戸時代に作成された地図でもかなり精度が高く、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。現在、江戸時代初期の中井家「洛中絵図」をGISデータ化しており、これにより町地以外の土地利用を特定し、町地に関しては、「京都地籍図」の敷地にもとづいて、町家を生成する計画である。町家類型の頻度分布に関しては、絵画資料の分析が必要である。また、江戸時代中も人口増大に伴って特に敷地奥の町家の建てられ方に変化が見られたと予想されるため、敷地奥の町家の自動生成を人口密度に関するパラメータにより変化させられるアルゴリズムを検討している。

5．その他の工夫

現行の家屋VR生成モデルは、長方形の家屋形状をもった家屋しか生成することができない。これに対し、GISデータから家屋を生成する他の研究では、不定形の家屋形状に対して自動的に家屋を生成するプロシージャが開発されている²¹⁾。同様の方法で、不定形の家屋形状をもった町家の自動生成マクロも開発中である（第8図）。



第8図 不定形の家屋形状に生成した町家

（提供：立命館大学情報理工学部田中覚研究室）

．二次元から三次元へ

以上にのべた、家屋形状のGISデータから大量の家屋の3Dモデルを作成することは、より一般的に換言すれば、二次元ポリゴンから三次元オブジェクトを発生させるということである。GISデータには、ポイント・ライン・ポリゴンの三種類があることを考えると、自動生成はその応用範囲をさまざまな地物に広げられることがわかる。この章では、この応用範囲について、データ作成上の注意点を含めて述べる。

なお、広域なVRモデルを作る際に、実用上のボトルネックとなるのが、データ量である。特に、京都バーチャル時・空間プロジェクトでは、京都市全域にわたる3DモデルをWeb配信するという目標をもっているため、既存のネットワーク環境で配信可能なモデルを作らなければならない。データの軽量化とリアリティーのトレードオフが必要なのである。データ軽量化の策として、空間上に多く存在し景観上重要ではあるが、観察者の注視の的とならないような背景的な地物に関しては、ビルボードと呼ばれる、直立する板にテクスチャーを張ったものを利用することができ、以下の例でもこの利用の可能性を論じる。

1．ポイント

(1) 樹木：多くの枝と葉からなる樹木の3Dモデルは、広域にわたる3Dモデルで使用すると、デー

タ量が多すぎて実用的ではないため、ビルボードを十字に組んだものに樹木のテクスチャーを貼ることで対応する。テクスチャーには、チャンネルと呼ばれる透過度を定義するモノトーン画像を用意することで、樹木画像部分以外を透過させることができる。そのためには、マテリアルファイル中のテクスチャー定義に、チャンネルを透過度に割り当てる decal 行を追加する。

```
# material file contents
newmtl tree01
map_Ka ../texture/tree.tif
decal ../texture/tree.tif
Ka 0.5 0.5 0.5
Kd 0.8 0.8 0.8
Ks 0.2 0.2 0.2
d 1.0
```

ここで、tree.tif はチャンネルを含むテクスチャー画像で、ファイル形式はチャンネルをサポートする TIFF などの画像ファイル形式でなくてはならない。チャンネルは、カラー画像の RGB 各レイヤにつづく第 4 番目のレイヤで、画像中で透過する部分を白、描画する部分を黒で定義したモノトーン画像である²²⁾。

第 9 図に示した街路樹は、都市計画図に記載されている街路樹のデータからビルボード樹木を発生させたものである。樹高・樹幅・方向をランダムに変化させることにより、限られた数のテクスチャーしかない場合でも、画一的な印象を避けるような工夫がされている。



第 9 図 御池通の街路樹

(2) 信号機・道路標識：信号機や道路標識は、実在の街路景観に重要なインパクトがあるほか、地名の表示の役割もっており、広域な三次元モデルを作る上で重要である。GIS データから 3D モデルを生成するには、向きと地名情報を属性情報として必要とし、またそれぞれの地名の描かれたテクスチャーが必要である。また、交差する道路の両方の信号機が同じ色にならないように工夫する必要がある。

2. ライン

(1) 道路面・線路・高架：道路の幅員や白線は、基本的に一定の規格にしたがっているため、3D モデルを自動的に生成するのに向いている。道路面にテクスチャーを張る場合には、白線の長さと同隔がほぼ等間隔になるように、テクスチャーの貼り付け方に注意する必要がある。OBJ ファイル形式では、画像頂点に 1 以上の数値を用いることにより、同じテクスチャーを繰り返し使うことができる。例えば、

vt 0 0
 vt 2 0
 vt 2 1
 vt 0 1

上のようにOBJファイル中のテクスチャー座標頂点を定義して、四角面に貼り付けると、横方向に同じ画像を二回繰り返して貼ることができる。

また、MAPCUBEデータでもそうであるが、地表面モデルはしばしば、三角面から構成されるワイヤーフレームで作られることが多いが、道路面に傾斜をつける場合には進行方向に向かって傾斜をつける必要がある。

(2) 電信柱・電線：街路に電信柱がたっているか、地中に埋められているかによって、景観の与える印象は大きく変わる。線の3Dモデルの作成は困難なため、やはり電柱と電柱の間に張ったビルボードに懸垂した電線のテクスチャーを張るのが、きれいな上単純である。また、電力ネットワークのデータは手に入れないことが多いため、家屋各戸に電力を供給するネットワークを推計して、適切な間隔で電信柱を配置するシミュレーションから行う必要があるであろう。

(3) アークード・塀・植え込み：左右非対称、あるいは内側と外側で区別する必要がある地物に関しては、二次元データ作成時にそれを意識して作る必要があるであろう。ラインの進行方向を使って左右を定義するのが、もっとも適切である。また、アークードや塀は基本的には同じモデルが繰り返されるようにつくればよいが、端点（始点と終点）ではことなるモデルを用意する必要があることが多い。また、テクスチャーやモデルは一定の大きさをもつので、ライン頂点間にいくつのユニットを繰り返せば、もとの大きさをほぼ維持できるかを計算した後、その回数分繰り返すモデルを作成すべきである。

(4) 鳥居・灯籠：GIS上では、点データとして象徴させることができる物体でも、その向きや大きさを属性として入力しなければならない手間を考えると、ラインデータとして作成する方が、効率がよい。

3. ポリゴン

(1) 一般家屋：家屋VRモデルは、一般家屋に関しても適用可能である。しかし、近代以降の家屋は形状に関しても、色・テクスチャーに関しても非常に多様であり、多様性の分析と適切な類型化、そして各類型に対応するパラメトリック3Dモデリングが必要となる。

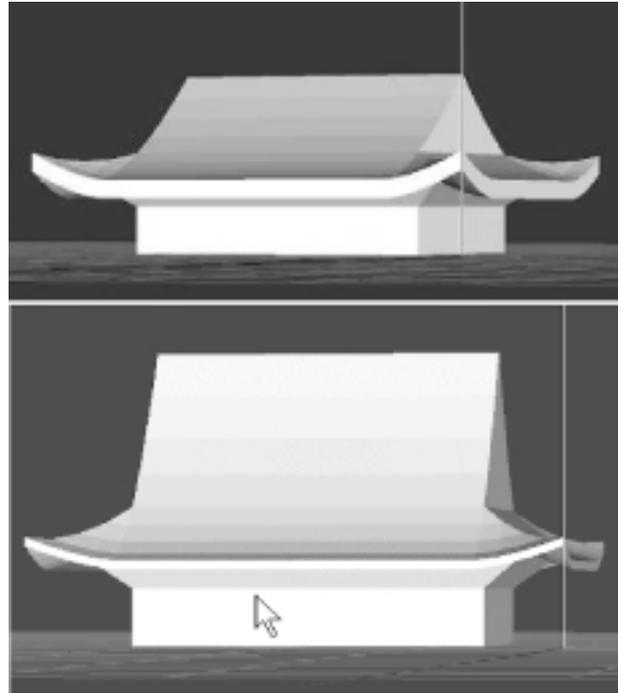
(2) 寺社建築：寺社建築は個性的で複雑ではあるが、陸棟単位で考えれば、特定の屋根形状をもった比較的単純な家屋形状の複合であることがわかる。寺社の内部を作らない場合には、陸棟単位で作成した3Dモデルを重ねて表示することにより、便宜的な寺社モデルを作ることができる（第10図）。寺社は観察者の注視対象になる地物であるため、3Dモデルを自動生成・自動配置する地物としては適していないが、京都には寺社もかなり沢山あり（寺院1,600件、神社180件程度）、すべてを精巧につくることが困難なため、簡便なモデルを作成する必要性がある。

(3) 武家屋敷：江戸時代に存在した武家屋敷の敷地は、その多くが町家によって囲まれた街区の内部に広がっており、その敷地形状は複雑であり、とても長方形で代用することはできない。武家屋敷は塀によって囲まれているため、ラインから3Dモデルを生成する要領で塀のモデルを作成する

ことができる。また、家屋に対して敷地が十分に大きいので、敷地重心にプロトタイプモデルを配置することで、武家屋敷に見立てることができる。また、敷地内に樹木を配置することも必要であろう。

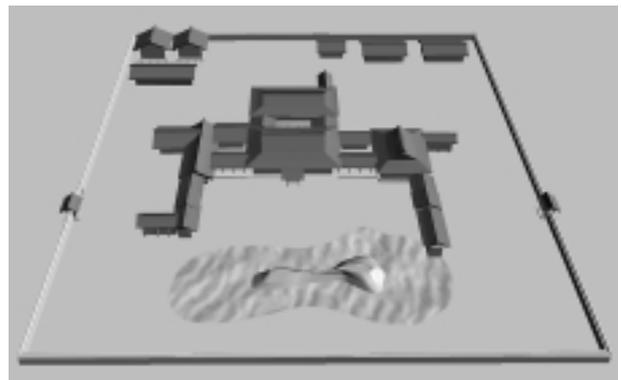
(4) 街区単位のモデル：平安時代の京都を復原した三次元モデルの作成では、平安時代には、土地の細分化が進んでおらず、ひとつの街区を単位として、貴族の邸宅や宮殿が建てられていたと仮定した。そこで、京都市所有の「平安京模型設計図」にもとづいて、1町・1/2町・1/4町単位で家屋と塀や庭などを含むプロトタイプモデルを作成して(第11図)、これらを復原された当時の土地利用図にもとづいて配置し、平安京全域のモデルを作成した²³⁾。

(5) 土地利用・土地被覆：不定形のポリゴンによって特定される、農業的土地利用や水面には、地表面データに連続テクスチャーを貼ることで3次元モデルとすることができる。ただし、前近代の農地(特に水田)の畦畔は、地形起伏を如実に反映しており、等高線と傾斜との整合性を考慮した畦畔分布のシミュレーションが必要であろう。京都周辺の場合のように、条里制が敷かれていたような場合は、条里の復原データが必要である。



第10図 寺社のパラメトリック3Dモデル

二つのモデルはまったく同一のモデルであるが、屋根傾斜と屋根厚みに関するパラメータを変化させることにより神社風(上)と寺院風(下)のモデルを生成できる。



第11図 平安京の1町単位の邸宅モデル

「平安京模型設計図」にもとづいて作成されたモデル²³⁾

．おわりに

本稿は、家屋形状および家屋属性に関するGISデータから、大量の家屋の3Dモデルを自動生成・自動配置する「家屋VR生成マクロ」の構造を紹介した。また、このマクロを用いて、現在および過去の京町家モデルを作成した事例と、モデルをよりリアリティーに近づけるさまざまな工夫を紹介した。このマクロの方法を応用することにより、家屋に限らず、樹木や信号機などの点的オブジェクト、道路や電力ネットワークなどの線的オブジェクト、あるいは土地被覆などの面的オブジェクトなどのさまざまな地物の3Dモデルを効率的に生成することができる。

都市全域の三次元モデルを作成するという課題において、既存のデータにもとづいて3Dオブジ

エクトを自動生成するという方法は、実現可能なほとんど唯一の方法である。現在さまざまな目的のために、さまざまな情報が空間的データベースの形で整備されており、この情報を二次的に利用することによりモデルをより現実に近づけることができる。また、この方法を用いることにより、これまで3DCGクリエイターのみで行っていたモデル作成を、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、地理学、建築学、情報科学などの多分野の協働により、専門的知識や技術を最大限に活用することができる。さらに、この方法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れるし、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フレキシブルな方法である。特に、歴史時代の都市を復原する場合には、データがそろった状態で得られることはほとんどない。部分的に得られる量的・質的データから仮説を構築し、その仮説をビジュアライズできることは、この方法の大きな利点である。新たな史料の発見や、新しい仮説の出現によってさまざまなモデルが作成されれば、歴史認識の画一化を回避し、過去に関する創造力をよりいっそうふくらませることができるのではなかろうか。

注

- 1) Keiji YANO, Tomoki NAKAYA, Yuzuru ISODA, Yutaka TAKASE 'Virtual Kyoto: restoring historical urban landscapes using VR technologies' 第2回NII国際シンポジウム「デジタル・シルクロード」奈良シンポジウム論文集, 2004, 429 ~ 438頁。
- 2) 高瀬裕「3次元都市モデルとビジュアライゼーション」, 画像ラボ 15(4), 2004, 54-58頁。
- 3) 本稿執筆時点で試験的にWeb公開されている, MAPCUBEデータから作成された三次元モデルには、「擬似テクスチャー」(用途分類にもとづくランダムなテクスチャー)が貼り付けられている(URL: <http://133.19.175.184/uv4w/frame.jsp>)。
- 4) 三村浩史「歴史的都心地区における町家・町並みの保存と継承の具体策(1)」, 住宅総合研究財団研究年報 18, 1991, 243 ~ 255頁。
- 5) 橋本清勇・東樋口護・宗田好史「京都市都心部における伝統的木造建物ストックとその特性」, 日本建築学会計画系論文集 542, 2001, 183 ~ 189頁。
- 6) 京都市『平成10年度京町家まちづくり調査』, 京都市都市計画局, 1999, 44頁。
- 7) 河原典史・矢野桂司・古賀慎二・高瀬裕・河角龍典・井上学・河原大・岩切賢「4次元GISを用いた京町家モニタリング・システムの構築」, 民俗建築 124, 2003, 13-22頁。
- 8) 京町家の7つの町家類型には、総二階、中二階、三階建、平屋建、仕舞家、堀付町家、看板建町家が含まれる。
- 9) 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 13, 2004, 459 ~ 462頁。
- 10) 家屋重心の座標値を求めるには、フリースクリプト集EasyCalculator(作者: Ianko Tchoukanski, URL: <http://www.ian-ko.com/>)を用いることができる。
- 11) 家屋形状ポリゴンはETGeoWizard(作者: Ianko Tchoukanski, URL: <http://www.ian-ko.com/>)を用いて、ポリゴン頂点のポイントデータに変換することができる。そして、上記同様EasyCalculatorを用いて、各頂点の座標値(X,Y)を求めることができる。ラスタ上のポイントにラスタ値を与えるには、ArcGIS Spatial Analyst モジュールの「ゾーン統計」を用いることができる。
- 12) 各ポイントの街区境界までの距離を算出するには、ArcGISの「空間的位置関係にもとづくテーブル結合」を頂点ポイントデータから街区境界データに対して行うことにより、求めることができる。
- 13) どのくらいの広さの地域で集合すべきかは、三次元モデルの空間的なデータ密度に依存するが、京町家モデルの作成では、250m四方メッシュ単位で一つのファイルにまとめられるように、各家屋重心の含まれる250mメッシュIDを集合変数として用意した。

- 14) Adobe®PhotoShopなどの画像処理ソフトを使って行うことができる。
- 15) 多くの3D表示ソフトでは、画像縦横サイズ(ピクセル数)が2の乗数倍になっている必要がある。画像の縦横比はモデル部位の形状によって適切に拡大・縮小されるので、テクスチャー画像の縦横比が現実と一致しなくてもよい。
- 16) 京町家作事組 編著『町家再生の技と知恵』学芸出版社, 2002。
- 17) 矢野桂司・中谷友樹・磯田弦・河角龍典・高瀬裕『都市3次元GIS/VRによる京都バーチャル時・空間の構築』, 情報処理学会研究報告 Vol.2004 No.6 (2004-CVIM-142), 2004, 97 ~ 104頁。
- 18) 河原典史・河角龍典・矢野桂司・中谷友樹・磯田弦・高瀬裕・井上学・河原大・塚本章宏「昭和・平成期の京町家バーチャル時・空間 - 京町家時・空間データベース及びVR技術を用いた京町家の減少過程の復原」, 民俗建築126, 2004, 65 ~ 71頁。
- 19) 河角龍典・矢野桂司・河原大・井上学・岩切賢「空中写真を利用した京町家時空間データベースの構築」, 人文科学とコンピューターシンポジウム論文集 No.21, 2003, 111 ~ 118頁。
- 20) 井上学・矢野桂司・磯田弦・中谷友樹・塚本章宏「『京都地籍図』を用いた近代京都の景観復原」, 2004年度人文地理学会大会(佛教大学), 2004年11月13 ~ 15日。
- 21) Kenichi Sugihara 'GIS based Automatic Generation of 3-D Building Model from Building Polygons Filtered', GIS理論と応用12, 187 ~ 195頁。
- 22) チャンネルつき画像はAdobe®PhotoShopなどの画像処理ソフトで作成することができる。
- 23) 河角龍典・矢野桂司・塚本章宏・磯田弦・高瀬裕・佐古愛己「GISおよびVR技術を用いた平安京の景観復原」, 日本文化財学会第22回大会(北海道大学)2005年7月9日。

(本学文学部講師)

Creating 3D out of 2D : a Case of *Kyo-Machiya* Models in the Kyoto Virtual Time Space

by

Yuzuru ISODA

This paper describes the details of the 'Building VR generation macro', which was developed in the 'Kyoto Virtual Time Space' project and was referred to in various papers. "Building VR generation macro" is a computer programme which adjusts and places parametric 3D model on to building footprint data in GIS, and thus linking 2D to 3D. It takes the approach between completely virtual simulation and completely real CAD modelling. It incorporates the real data if exists, but simulates if otherwise and thus is capable of generating 3D models with the highest possible reality in large numbers. The macro is used to model *machiyas* (traditional townhouses) in Kyoto, and the paper also discusses other possibilities as well.