

## 9 3次元都市モデルを活用する防災まちづくり支援システム

### Urban Planning Support System for Disaster Prevention utilizing 3-D urban model

杉原 健一<sup>1</sup>・林 良嗣<sup>2</sup>

Kenichi Sugihara, Yoshitugu Hayashi

**抄録：**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、「防災まちづくり支援システム」を開発することを目指す。「3次元都市モデルの自動生成システム」は、電子地図に基づいて、都市の3次元モデルを自動的に作成する。具体的には、電子地図上の建物境界線に基づいて、それらを前加工し、3次元CGソフトをコントロールするスクリプト言語で開発したソフトウェアが前加工したデータを取り込み、「3次元都市モデル」を自動生成する。本システムは、整備案や現況の電子地図に基づき、整備案や現況となる都市の3次元モデルを自動生成し、建物倒壊、道路閉塞等の3次元シミュレーションを行うことの出来る「防災まちづくり支援システム」となる。そのために倒壊して傾斜した建物を3次元モデリングする手法を明らかにする。

**キーワード：** 3次元都市モデル、自動生成、防災まちづくり支援システム、CG、GIS、3次元建物モデル

**Keywords :** 3-D Urban Model, Automatic Generation, Urban Planning Support System for Disaster Prevention, CG, GIS, 3-D Building Model

#### 1. はじめに

図-1に示すような3次元都市モデルは、都市計画、まちづくり、防災、景観などの土木・建築・交通工学等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3次元都市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3次元イメージを共有し、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。3次元都市モデルは、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3次元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。近年、この仮想空間は、リンデンラボ社のセカンドライフやグーグル社のGoogle Earthの3D表示などで、人々の関心が急速に高まり、特にセカンドライフは、ネット社会を変えるとまで言われている。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表示等のように、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3次元都市モデルは、航空機や人工衛星にカメラやレーザー機器などを載せて、地上の建物や木々や山などの形状、色などの情報をコンピュータに取り込み、都

市の3次元モデルを作る。このとき、これらの3次元都市モデルを作成するために、建物等の形状データ取得や3次元モデル生成には、3次元CGソフト等を使った多くの手作業で作成を行う必要があり、多大な時間とコストをかけている。そこで、筆者らは、電子地図に基づいて、3次元都市モデルを自動生成するシステムの開発を行ってきた。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、地震で倒壊し、傾斜してしまった建物の3次元モデルを自動的に作成することで、建物倒壊、道路閉塞などのシミュレーションを行うことが出来る「防災まちづくり支援システム」を開発することを目指す。

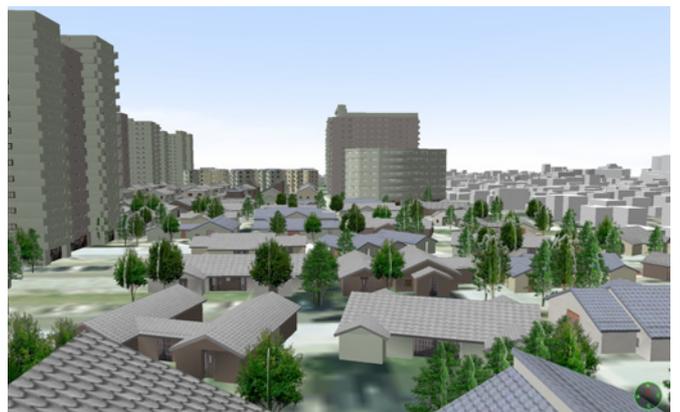


図-1 情報基盤として多目的の利活用が期待される本システムで自動生成した3次元都市モデル

1：正会員 工博 岐阜経済大学 教授 経営情報学科

(〒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：正会員 工博 名古屋大学大学院 環境学研究所 都市環境学専攻

(〒464-8603 名古屋市千種区不老町, Tel :052-789-2772, E-mail : yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp)

## 2. 3次元モデルをハザードマップとして活用する意義

今日、東海・東南海・南海地震及び日本海溝・千島海溝型地震など海溝型大地震の発生切迫性が指摘され、マスコミで取り上げられない日はないほど、巨大地震の発生に人々の関心が集まっている。各自治体は、法律(水防法)で情報開示やハザードマップの配布が義務づけられた洪水や土砂災害のハザードマップに続いて、地震関連についてもハザードマップの作成と公開を進めている。ハザード情報の公開は様々な社会問題を誘発するために慎重な意見もある。しかし、地震被害軽減には自助努力が不可欠であり、それを適正水準に高めるための情報としてハザード情報はもっとも基本的なものである。地震に関する詳細なハザードマップ作成と公開は今や当然のことであり、急務であるとされる。このように自治体では、ハザードマップを作成し、住民とともに、図上で避難や救助活動などの防災のイメージトレーニングを行っている。

しかし、現状の2次元のメッシュ地図形式をとることが多いハザードマップはリアリティに乏しい。地域防災力向上のためには、災害イメージを具体的に実感できる詳細なハザードマップが有効である。このとき、建物等の3次元モデルを用いた「3次元ハザードマップ」は、「現実の世界に起こりうる災害状況」をシミュレーションすることが可能であり、災害イメージを容易にいただくことができる。このことは、住民、行政、専門家で災害イメージを共有し、災害を分析、対策案の検討を行い、地域の整備案を考え、地域の防災力向上につながるようになる。

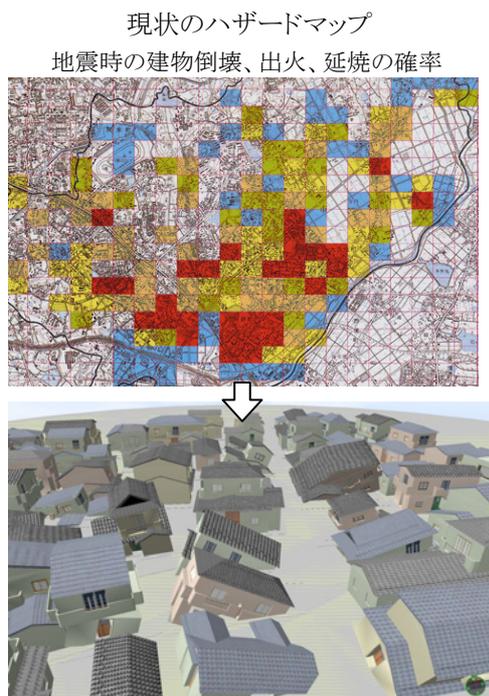


図-2 現状のハザードマップと建物倒壊と道路閉塞をシミュレーションした3次元都市モデル

## 3. 傾斜建物の3次元モデル作成方法

### (1) 自動生成のプロセス

建物の3次元モデルの情報源になるものは、建物境界線である建物ポリゴンが描かれている電子地図である。電子地図は、汎用のGISによって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、次工程であるGISモジュールにて、①複雑な形状をした頂角が直角の建物ポリゴン(orthogonal polygon)を長方形の集まりにまで分割する。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、等の前処理を行う(図-3上図参照)。前処理したデータを、3次元CGソフト(3D Studio VIZ)をコントロールするCGモジュール(MaxScriptで開発)が取込み、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、プリズム、多角柱等の基本立体(プリミティブ)を作成する。②これらの基本立体に対してブール演算を行い、屋根や窓などの部品を作成する。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、等の処理を行い、3次元建物モデルを自動生成する。電子地図上の建物ポリゴンが、上記処理が行われ3次元建物モデルとなる様子を図-3に示す。

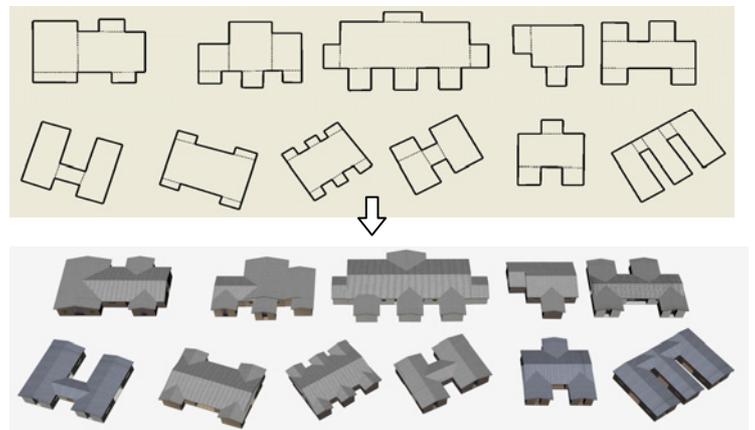


図-3 多様な形状をした直角ポリゴンに対して分割処理(上図)分割されたポリゴン上に自動生成した3次元建物モデル(下図)

### (2) 分割長方形に対する3次元モデル生成プロセス

複雑な形状をした頂角が直角の建物ポリゴン(直角ポリゴン)は、長方形の集まりにまで分割する。分割された長方形上に、Box状の建物本体、上から見て長方形形状の屋根を持つ3次元建物モデルを配置する。長方形は、図-4のように番号付けされる。即ち、長方形の長い方の辺で、上にある辺の左側の頂点からpt1、pt2、pt3、pt4と時計回りに番号付けする。従って、辺12(edge12)が辺23(edge23)より長くなるよう番号が付けられる。建物を構成する建物本体や屋根や窓、

ドア、バルコニー等は、適切な大きさの直方体やプリズム等の基本立体を生成し、建物本体に窓用の穴を開ける、バルコニーの角をとるため等のブール演算を行い、形状モデリングを行う。基本立体には、その位置や姿勢をコントロールするための制御点が存在し、その制御点を適切な位置に移動することで、建物を構成する部品を配置し、建物を生成する。3D Studio VIZにおいて、制御点は基本立体によって異なり、直方体(Box)は底面の中心、プリズムは、プリズム生成時、底面の三角面の原点にあたる頂点が制御点となる。

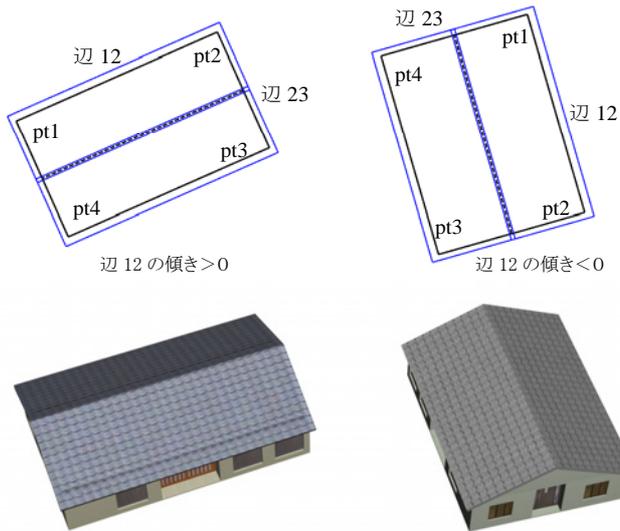


図-4 辺 12 の傾きが正と負の場合の長方形とそれに基づいて自動生成した 3次元建物モデル

2枚板で形成される屋根の下の構造物は、プリズムを用いて、作成される。プリズムは生成時には、3角柱として、直立した状態で、底面の三角面の1つの頂点が原点と重なり、それが制御点となる。最初にx軸回りで時計回りに90度回転させ、3角柱を倒す。その制御点は、辺 12 の傾きが正と負の場合に分けて、異なる頂点に制御点の位置を定めることで、正しく建物本体の上に配置できる。

```

if( grad_hous >= 0 ) then (
    rotate prism -(90-grad_hous) z_axis
    prism . pos = pt2
) else (
    rotate prism (90+grad_hous) z_axis
    prism . pos = pt4
)

```

\*ここで、辺 12 の傾きを grad\_hous、プリズムである屋根の下の構造物が prism、傾きが正と負の場合で、Z軸回りの回転方向、制御点を変えている。

図-5 辺 12 の傾きが正と負の場合で、Z軸回りの回転方向、制御点を変えてプリズムの制御点を指定する MaxScript の簡易コード

### (3) 傾斜建物のモデリング

阪神・淡路大震災では、図-6の写真に示すようにオフィスビルやマンションのように耐震性の高いはずの鉄筋コンクリート造りの建物であっても、1階部分や中間層がつぶれてしまい、倒壊する建物が存在した。また、多くの木造建築物が倒壊して、道路を閉塞してしまった地域も存在する。



図-6 阪神・淡路大震災において、倒壊したビル (http://ja.wikipedia.org/wiki/阪神・淡路大震災、より)

地震により傾斜した建物の3次元モデルを作成するには、建物本体や窓などを形成する適切な大きさの基本立体(Box)を生成し、図-7で示すように、基本立体の底面の中心にある制御点を原点とするローカル座標のx軸、y軸について回転する。傾斜建物の1階部は、その底面の長方形の4頂点で、傾斜後、最も高い頂点をグランドレベルにするよう高さを指定する。傾斜建物の2階は、1階部と同様に、ローカル座標のx軸、y軸について回転した後、1階部の頂面の中心に2階部の制御点を位置するように、1階部の頂面の中心位置を算出する。具体的には、1階部の底面の中心に対しての頂面の中心のx軸方向とy軸方向の変位分(オフセット)を、x軸回りの回転角とy軸回りの回転角、建物ポリゴンの傾きを用いて算出する。

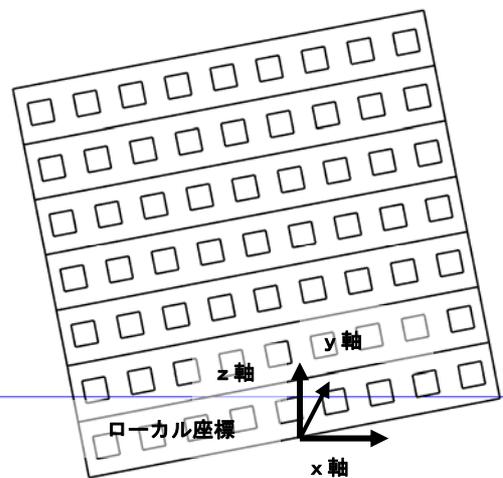


図-7 傾斜ビルを正面から見た図、基本立体(Box)の底面の中心に制御点、ローカル座標が存在する

変位ベクトルは、ローカル座標系の「x軸回りの回転による変位ベクトル」と「y軸回りの回転による変位ベクトル」の合成ベクトルとなるが、ローカル座標系の「x軸回りの回転による変位ベクトル」の世界座標でのx y成分を算出するときに、建物ポリゴンの傾きの正負によって、場合分けする必要がある。場合分けして算出する式を図-8に示し、下の階に対して、上の階の建物の位置が算出する変位ベクトル分だけずれていく、傾斜建物を上から見た平面図を図-9で示す。

```

if( arg >= 0 ) then (
d_x=h_st*sin(y_th)*sin(arg)-h_st*sin(x_th)*cos(arg);
d_y=-h_st*sin(y_th)*cos(arg)- h_st*sin(x_th)*sin(arg) )
else (
d_x=-h_st*sin(y_th)*sin(arg)+h_st*sin(x_th)*cos(arg);
d_y=h_st*sin(y_th)*cos(arg)+h_st*sin(x_th)*sin(arg)
)

```

\*ここで、x軸回りの回転角を x\_th、y軸回りの回転角を y\_th、建物ポリゴンの傾きを arg、各階の高さを h\_st、建物ポリゴンの傾きが正と負の場合で、変位分のx成分とy成分を計算する式を変えている。

図-8 建物ポリゴンの傾きの正負によって、下の階に対する上の階の制御点の変位分のx y成分を算出するMaxScriptの簡易コード

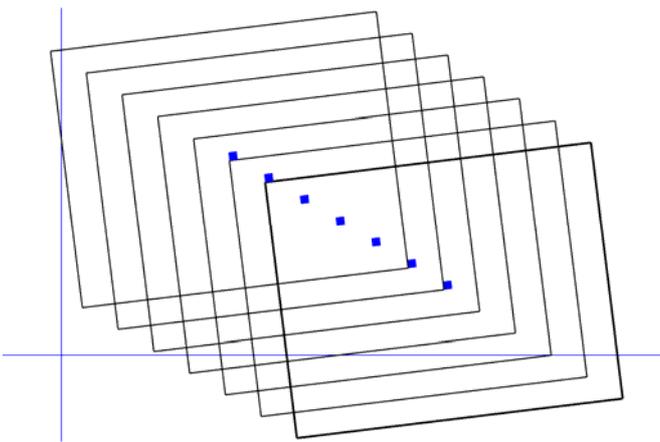


図-9 傾斜ビルを上から見た平面図、各基本立体(Box)の底面の中心に制御点、ローカル座標が存在する



図-10 自動生成した色々な方向に傾斜した倒壊ビルが存在する3次元都市モデル



図-11 自動生成した傾斜ビルを別の視点から見た3次元都市モデル

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、開発している3次元建物モデルを自動生成する「GISとCGの統合化システム」の運用で、地震によって倒壊して「傾斜した建物を自動生成するシステム」を提案した。この「統合化システム」の特徴を以下に列挙する。

- (1) まちづくりや都市計画において、整備後の将来の街の姿を考えると、一般的に、地図を描いて、計画案、代替案を検討する。この地図が、素速く街の3次元モデルに変換できれば、プランニングの効率を上げることができる(本システムは都市計画コンサルタント2社で採用された)。
- (2) 都市シミュレーションシステムは、一般的に、大規模で、高価だが、本システムは、市販のGISソフト、3次元CGソフト、本システムから構成されるサンプルで、安価な統合化システムである。
- (3) GISとCGの統合化したシステムで、単独のシステムではできないこと、即ち、データベース(GIS)で地物を管理し、且つ、CGで地物の3次元モデルを生成することができる。

今後は、建物以外に道路閉塞の要因となる電信柱、ブロック塀などの3次元モデルを自動生成するプログラムの開発を行う。こうして、より「現実の世界に起こりうる災害状況」をシミュレーションする3次元モデルを開発すれば、災害イメージを容易にいだくことができる。本システムは、次世代のハザードマップである「3次元ハザードマップ」を容易に作成することが可能であり、住民、行政などの関係者で災害イメージを共有し、災害を分析、対策案の検討を行い、地域の整備案を考え、地域の防災力を向上させることができる。