

# 3次元GISを用いたデジタルシティの作成と 地震災害の可視化への応用

## Construction of Digital City Using 3D GIS and Its Application to Visualization of Earthquake Disaster

加藤 圭太<sup>1</sup>, 山崎 文雄<sup>1</sup>

Keita KATO<sup>1</sup> and Fumio YAMAZAKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>千葉大学大学院 工学研究科 都市環境システムコース  
Department of Urban Environment Systems, Chiba University

In this study, virtual 3D city model was constructed using MAP CUBE, which consists of the shape of buildings. Digital maps and texture data of actual buildings were also employed to visualize the 3D city model. In addition that, the scenario of earthquake disaster was illustrated by damaged buildings, road cracks and fires in the 3D city model. This 3D model may be helpful for giving reality to imagine the disaster situations.

**Key Words :** GIS, Virtual Terrain Project(VTP), MAP CUBE, 3D city model, Visualization

### 1. はじめに

今日のコンピュータ・グラフィックス(CG)は成熟期を迎え、バーチャルリアリティ(VR)も研究段階からすでに実用化の段階になった。PCの能力が急速に向上することにより、以前には高価なグラフィックワークステーションでしか実現できなかったクオリティの高いCGやVRによる3次元表現は、PCで十分に表現することが可能になった。これにより、CG技術も一般の人々が利用できるレベルになりつつあるといえる<sup>1)</sup>。

3次元の空間に生活している我々にとって、3次元の空間情報が最も理解しやすいのは当然であり、誤解も生まれにくい。3次元表現はリアリティを求める上で必要不可欠なものである。この技術は建築分野にも応用され、3次元CADなどによって、よりリアリティのある建築物を表現するためのビジュアライゼーションが活用されている。そこでは柱や壁やその他の細かな部品にまで、3次元表現技術が使われている。そして我々を取り巻く都市空間上についても、3次元のリアルな都市モデルとしてコンピュータ上で扱おうとする研究も進められている。

とくに最近リモートセンシング技術、とりわけ3次元で地表面形状を取得できるレーザースキャナ技術を用いた都市モデル構築の研究が進められている。とくに航空機搭載型のレーザースキャナ技術は、短時間で広範囲のデータ収集が可能であり、広範囲の地図製作に適している。そして集められたデータから、2次元地図などを組み合わせ、都市モデルを構築することができる。さらには、そのようなデータから作られた形状モデルにテクスチャを貼り、視点を変えて鳥瞰できたり、マップ上を自由に移動できたりすれば、あたかも自分がその都市の中にいるような臨場感を味わうことができる。

都市のデジタルモデル化が進み、さらにGISなどを利用してコンピュータ上で都市の解析を行うことができれば、幅広い分野における新しい利用が可能となるだけでなく、これまで想像もしなかった活用法も創出される可能性が高い。

そこで本研究では、千葉大学西千葉キャンパスを例に、レーザ測量により建物や地盤の形状を高い精度でモデル化した3次元建物形状データであるMAP CUBEや航空写真等をもとに、GISと3次元モデル作成ソフトVTPを用いて、街区景観を可視できる手法を開発し、より本物に近い景観を持つデジタルシティを作成することを目的とする。さらに3次元都市モデルの応用として、防災分野においてこのモデルを活用する例として、地震の災害後の建物などの被害状況を再現するモデル作成を行う。

### 2. 景観作成のためのデータとツール

デジタルシティ構築のためには、モデルとなる地域のデータと、それをもとに構築するためのツールが必要である。今回は以下のようなデータとツールを用いて作成した。

#### (1) MAP CUBE

MAP CUBEは、飛行機搭載型レーザースキャナによる高精度なレーザ・プロファイラデータおよび空中写真と、2次元デジタル地図をベースに、3次元都市データ構築システムを用いて作られた都市モデルであり、建物形状と地盤面を形成している<sup>2)</sup>。

MAP CUBEの建物高さの誤差は15cm以内であり、建物の輪郭だけにとどまらず、塔屋(階段室や機械室)までも表現している。地盤面も同様にレーザ測量から構

築しており、得られたデータから TIN (Triangulated Irregular Network) を形成して地盤面を表現している。

本研究で用いた MAP CUBE は 2002.10~2003.3 に飛行した航空機レーザーのスキニングデータをもとに作成されている。形状モデルはポリゴンが組み合わさってできており、各建物の高さや標高が数値データとして入っている(図 1)。

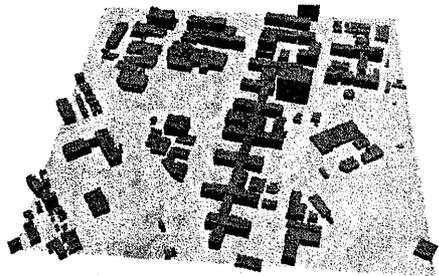


図 1 MAPCUBE の 3D 建物形状モデル(千葉大学西千葉キャンパス)

### (2) VTP

VTP は Virtual Terrain Project というオープンソースソフトウェアの名称である。このソフトは、CAD, GIS, 測量データなどの情報をユーザー同士で共有し、そのデータから 3 次元都市モデルを構築し、発展させることを目的として開発された。開発者に申請すれば誰でも自由に使うことが出来るフリーソフトである。オープンソースなのでプログラムを書き換えることによって機能の更なる発展も可能であり、サイトを通してバージョンアップしたデータも入手できる<sup>3)</sup>。

このソフトを用いることで、MAP CUBE などさまざまなデータから、仮想空間に独自の 3 次元の世界を作り上げることができ、従来の建築設計ソフトではできない、広範囲の都市の区画整理や設計、建物群の眺望が可能になる。

VTP は、以下のようなツールから構成されている。

#### a) VTBuilder

建物、道路など都市を構成する要素の各空間データを入力し、3D グラフィック表示ソフト Enviro で使用可能な独自のデータ形式に書き換える役割を果たすツールである。DEM, TIF, SHP など主に GIS で使われる多くのファイル形式のデータを取り込むことができる。このソフト上で、モデルの座標、緯度経度の入力を始め、地盤の座標の調整、建物のテクスチャの貼り付けや、建物ポリゴンの移動、削除、高さの設定などができる。また取り込んだ道路データの種類や幅や歩道の有無の入力、植物データの入力などの細かな設定ができる。

#### b) Enviro

VTBuilder で作成した都市データを 3 次元表示するツールである。インタラクティブ実行環境であり、Enviro 上で 3 次元表示された都市モデルの中でも、データの作成や編集、保存が出来る。VTBuilder ではできない植物、建物などの作成や配置も可能である。視点移動は自由自在に変えることができ、高速で非常に優れている。時間の経過やそれに伴う太陽の位置も入力された緯度経度にあわせて表示され、夕方や夜の状況も再現可能である。

### 3. 3 次元都市モデル作成法

#### (1) 3 次元都市モデル作成の手順

3 次元都市モデルを作成し、コンピューター上に表現する方法には色々ある。例として VRML (Virtual Reality Modeling Language) を用いる方法がある。VRML は、3 次元の物体に関する情報を記述するためのファイルフォーマットであり、これに 3 次元表現を記述し、専用ブラウザで表示するものである。また、3D 地図ソフトを利用したり、もしくは製品化されている景観作成ソフトや CG 作成ソフトを使用したりする方法もある。ただ、多くの場合グラフィックや視点操作に難があったり、手間がかかったりする場合がある。本研究では VTP と GIS を組み合わせた作成法を考案したが、この方法は GIS によりデータの編集が可能である。また VTP を用いての 3 次元表示は視点移動がほぼ自由自在であり、非常に有効であると考えられる。VTP と GIS を用いた作成法のフローチャートを示す(図 2)。

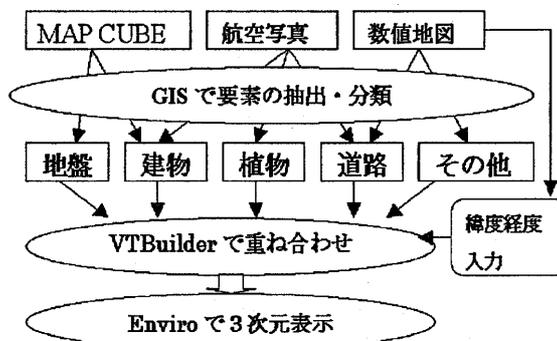


図 2 都市モデル作成のフローチャート

#### (2) 地盤データの可視化

モデルの地盤は MAP CUBE 内に入っている地盤形状データをもとに作成する。このデータはポリゴンが TIN 状に並び、一つ一つに高さデータが入力されている。しかし MAP CUBE のファイル形式は SHP (Shapefile) 形式のため、そのままファイルの数値データを読み込むことはできない。この場合、VTBuilder には PNG か、TIF 形式のどちらかの 2 次元画像にして標高を読み込ませる。ここでは高さをグレースケールでグラフィック表示したときの色の明度 (CG のカラーコードで用いられる 0~256 段階) で決めるようになっていて、明度が低いほど高さが低くなる。それを踏まえ、まず GIS で各地盤が、高さに応じて明度を表示するように設定する。そしてこのデータを TIF 形式に出力し、さらにそれを VTBuilder に出力する。そうすると、正確な地盤の高さデータを VTBuilder に読み込ませることができる。

また Enviro で地盤の上に航空写真を重ね合わせることができるため、地盤と緯度経度(座標)をそろえて重ねた。

#### (3) 道路データの可視化

道路データは数値地図 2500 から道路中心線を抽出した。また数値地図にない道路はより詳細な地図を数値地図に重ね合わせ、その道路線を抽出し、VTBuilder に出力した。

VTP 上で、名前、種類、幅、車線数、歩道の有無、駐車場、周りとの余裕幅を道路ごとに細かく設定した。ま

た XML データを書き換えて任意のテクスチャを道路表面の画像として使った。

**(4) 建物データの可視化**

建物データは MAP CUBE の建物形状データをもとに作成した。建物は三角柱状のポリゴンが組み合わさって形作られている。だが、MAP CUBE には座標系や緯度経度が入っていないため、地盤データと同様に GIS 上に数値地図 2500 を重ね合わせて正確な緯度経度を入力する。VTBuilder では VTST という独自のファイル形式に保存される。また各建物に対し、階数、材質、屋根の形を設定することができる。

この VTBuilder では建物の表面にテクスチャを貼り付けることができる。プリインストールされている壁、窓、ドア、もしくは指定した色を表面に貼り付けるか、画像ソフトで編集した画像を指定の形式にすることで、独自のテクスチャを貼ることができる。これにより非常に現実に近い建物モデルが再現可能となる(図3)。

MAP CUBE はすべて三角柱のポリゴンで構成されるため、単に直方体でない建物は複雑なポリゴンになる。テクスチャは一つのポリゴン面に対し一つを貼るため、テクスチャの貼り付けが困難な場合がある。このような場合には薄壁状のポリゴンを建物表面に作成し、そこにテクスチャを貼り付けた(図4)。



図3 3次元表示した千葉大学自然科学研究棟

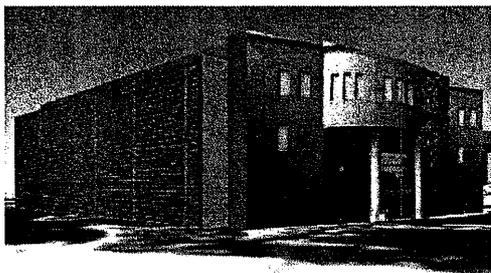


図4 3次元表示した千葉大学けやき会館

**(5) 植物データの可視化**

植物モデルのデータは、専用のファイルをサイトから入手できるが、日本の植物データはその中に無いため、3次元モデルに使用したい植物の画像を編集し、入力することで任意の植物モデルを3次元表示できるようにした(図5)。

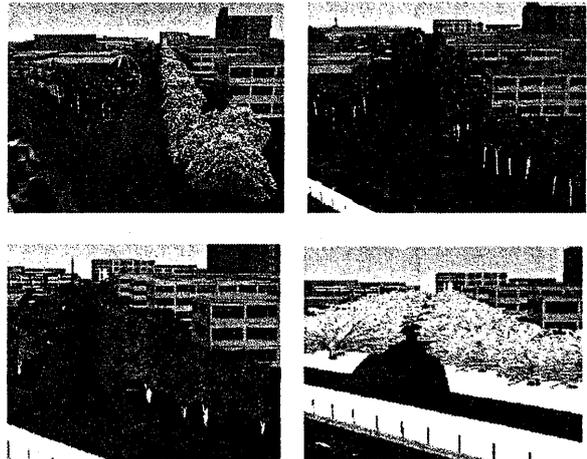


図5 千葉大学西千葉キャンパスの季節変化の再現(左上から春夏秋冬)

**(6) その他のデータの可視化**

上の4要素以外のデータは、指定の3次元形式のファイル(3ds,obj,lwo,flt,osg,ive)であれば入力できる。モデリングソフトを使って自分で作成したり、あるいは別の場所からデータを入手したりすることであらゆる3Dモデルの配置が可能である(図6)。



図6 キャンパス付近のフェンスと電柱

図2のフローチャートおよび(1)-(6)に従って、千葉大学の西千葉キャンパスモデルを作成した(図7)。



図7 千葉大学西千葉キャンパスモデル鳥瞰図

**4. 3次元都市モデルを用いた災害状況の可視化**

大規模な災害が発生したとき、その経験や記憶を風化させることなく、災害当時の状況を正確にわかりやすく

次世代へ継承することや、災害が起こっていない地域でも、被害想定を行うなど、防災意識の向上を促すことは非常に重要である。高精度な3次元都市モデルを用い、さらにシミュレーション結果をリアルな映像や画像で表現することができれば、ホームページ等から地域住民に分かりやすく情報を公開し、防災意識の啓蒙などに役立てることができると考えられる。

今回は3次元都市モデルの応用として、大規模な地震が起こり被害を受けたと仮定して、過去の地震の被害事例<sup>4)</sup>をもとに、千葉大学西千葉キャンパスにおける被害モデルを作成した。

はじめに、地震が起き、壁、柱、および窓ガラスにひびなどの損傷が入った場合の建物モデルを千葉大学内の建物を用いて作成した。建物の形は変えず、画像ソフトで表面のテクスチャだけを加工し貼り付けた(図8)。実際に被害が起こった場合は、その画像を取り入れればより本物に近いモデルを作成できる。

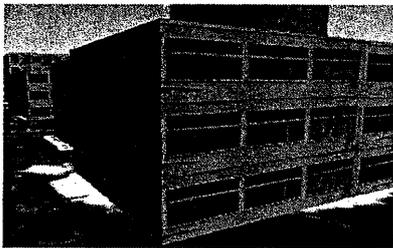


図8 壁、柱および窓の損傷を再現した様子

次に建物の第一層崩壊の様子を再現した。階数が一段減っているように見える。作成したモデルも一段減らし画像ソフトでテクスチャを加工し貼り付けた(図9)。

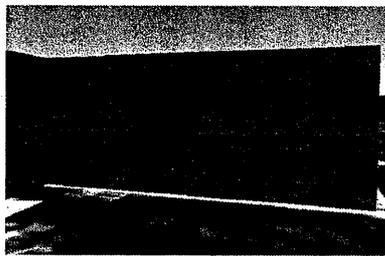


図9 第一層の崩壊を再現した様子

次に建物の中間層崩壊の様子を再現した。兵庫県南部地震の際は多くの建物で発生した。このモデルも、テクスチャを加工し貼り付けて作成した(図10)。ポリゴンの形は直方体のままだが、層崩壊を十分表現できる。

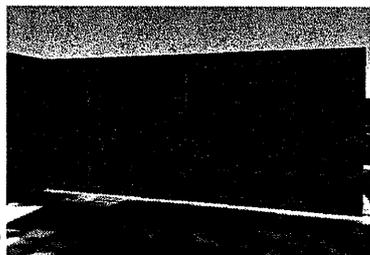


図10 中間層の崩壊を再現した様子

次に地盤の液状化などによって傾斜した建物の様子を再現した。よって現在使用しているツールでは、傾いた

ポリゴンが作成できないため、3Dモデリングソフトを使用し作成した(図11)。今回はテクスチャを表面に貼ることが出来なかったため、ポリゴンで窓を作った。

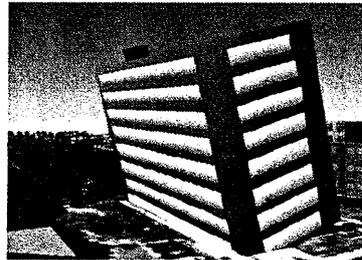


図11 傾斜した建物を表した様子

## 5. 結論と今後の課題

本研究では、MAP CUBEや航空写真等をもとに、景観モデル作成ソフト VTP 等を用いて、街区景観を可視できる手法を開発し、より本物に近い景観を持つ3次元のデジタルシティを作成した。さらにその応用として、防災分野においてこれを活用する例として、地震の災害後の建物などの被害状況を再現するモデル作成を行った。

まず、MAP CUBE等のデータから地盤、建物、植物、道路を抽出し、VTPに出力することで、リアルな千葉大学西千葉キャンパスの3次元モデルを完成させた。VTP上では、実際の建物を撮影した写真を、画像ソフトを利用して加工し、建物のモデルの壁に貼り付けた。さらに道路や植物、電柱やフェンスなどにも本物の画像を取り入れたデータを取り入れた。

次に、作成した3次元モデルを応用し、地震直後の被害を受けた建物モデルを作成した。3Dモデリングソフトで作成した建物については、形を正確に再現することと、テクスチャを貼り付けられるようにしなければ現実感が出ないなどの改善が必要であった。

今後は建物被害状況の作成において、広範囲の3次元モデル作成を可能にするために、自動的に建物の外観を取り込むシステムを作成するなどして、テクスチャのマッピングの効率化を計りたい。このようにして、より優れた3次元モデルが作成できれば、実際に景観シミュレーションや防災教育などに適用したいと考えている。

## 参考文献

- 1) 高瀬裕, 庄直樹: 都市モデル化システムと応用, 写真測量とリモートセンシング, 日本写真測量学会, Vol.43, No.2, p9-11, 2004
- 2) MAP CUBE Homepage: <http://www.mapcube.jp>
- 3) VTP Homepage: <http://vtterrain.org/index.html>
- 4) 日本建築学会, 土木学会, 地盤工学会: 1999年トルコジャエリ地震災害調査報告, 2001