

## I-5 GISとCGの統合化システムによる都市の3次元モデルの自動生成とその活用

GIS and CG Integrated System for Automatic Generation of 3D-CG City Model and its Application

杉原 健一\*      ハンマード アミン\*\*      林 良嗣\*\*\*  
 Kenichi Sugihara      Amin Hammad      Yoshitugu Hayashi

【抄録】 3次元CGで作る「都市モデル」は、景観評価や都市計画、交通工学、教育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として利活用が期待される重要な「情報基盤」である。例えば、住民参加型のまちづくりにおいて、住民と行政、専門家で目標とするまちの3次元イメージを共有する道具として、3次元CGの都市モデルが有効である。しかし、この3次元都市モデル構築のためのデータ取得・モデリングには、膨大な時間とコストがかかるため、本研究では、GISとCGを統合化して、GISに蓄積されたデータに基づいて、3次元CGソフトが都市モデルを自動生成するシステムの構築を目指した。次に、自動生成システムを活用する事例として、都市計画や建築基準法の空間形態規制の適用が街並みにどのような影響を及ぼすかのシミュレーションを行った。

【Abstract】 3D-CG model for real city space is the important information infrastructure that can be used for various purposes, such as, simulator for landscape evaluation, city planning, transportation engineering. However, in order to realize 3D-CG City, the enormous time and money have to be consumed to design the model and to acquire the data for the model. In this paper, we propose the system to generate 3D-CG City automatically, utilizing and integrating GIS and CG. We also present the case study of 3D-CG City landscape simulation by assuming the land use system and construction regulations.

【キーワード】 3次元CG、地理情報システム、シミュレーション、オブジェクト指向、データベース

【Keywords】 3D-CG, GIS, Simulation, Object-Oriented, Database

## 1. はじめに

都市の3次元CGモデルは、広範な分野での様々な利活用が期待される重要な「情報基盤」である。都市計画や景観分析、交通工学、教育といったアカデミックな分野の活用から公共事業の情報公開、まちづくりへの市民参加の場、ゲームやアミューズメントの分野での利用が考えられる。例えば、住民参加型まちづくりでは、住民・地権者と行政、専門家が目標とするまちの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。関係者間で、まちの3次元イメージを形成する道具として、CGによる3次元モデルを作成することが有効である。しかし、その都市の3次元CGモデル構築のためのデータ取得やモデル作成には、3次元CGソフト等を使った多くの手作業を行う必要があり、多大な時間とコストがかかる。例えば、住宅1軒の簡単なモデルを作るのに1時間かかるとして、数千

軒の建物より成り立つ街並みを再現するのに数千時間も時間を必要とする。

都市モデルを構築するには、建物など都市を構成するものからイメージデータを取得し、それから空間データを抽出する。イメージデータを利用するリモートセンシングの分野では、マルチセンサーシステムを備えた衛星や航空機、乗用車を使って、空間データを取得する。レーザーやデジタルカメラ、CCDなどのセンサー技術は急速に進歩し、また、衛星写真を個人が入手することもできるようになり、都市のイメージデータを利用して、都市モデルを構築する試みがなされている<sup>1)~3)</sup>。しかし、これらリモートセンシング技術で得られる3次元形状データから広範囲で精緻な都市モデルは得られていないのが現状である。

コンピュータによる3次元都市モデルを作る別の試みとして、GIS(地理情報システム)は地図を3次元表示す

\* 岐阜経済大学 経営学部 経営情報学科 0584-77-3598, sugihara@gifu-keizai.ac.jp

\*\* 名古屋大学 工学研究科 土木工学専攻 052-789-2736, hammad@civil.nagoya-u.ac.jp

\*\*\* 名古屋大学大学院 工学研究科 地圏環境工学 052-789-2772, yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

るため機能を拡張している。また、カーナビゲーションシステムや電子地図ソフトも地図の3次元表示に取り組み、地図の立体表示機能を持つ。例えば、ESRI社のGISは3次元表示機能を付加すれば、建物ポリゴンを建物の階数データに基づいて押し出し(extrude)して、3次元都市モデルを作成できる。

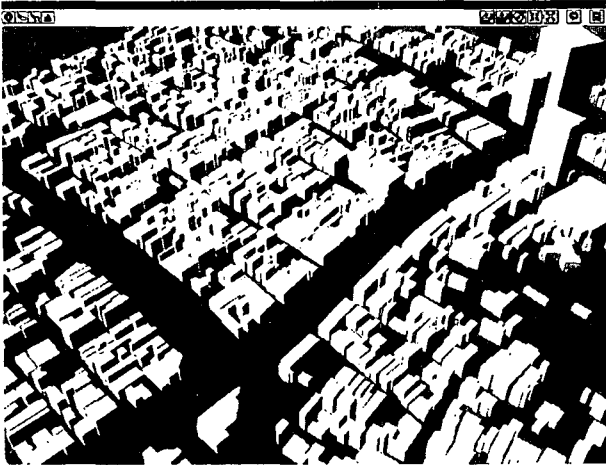


図-1 GISに3次元表示機能を付加し生成した3次元都市モデル(大垣市駅前通り)

このようにポリゴンの押し出しで、3次元化は可能であるが、都市を構成する主要なものである道路や公園等はなく、また、建物のディテールにも欠けている。これはカーナビや電子地図ソフトにおける3次元表示機能でも同様である。

3次元都市モデルの構築は、リモートセンシングでのモデル獲得以外には、主にCADやCGソフトを使って、手作業でオブジェクトを制作している。新しい試みとして、Gruber<sup>4)</sup>はCADとGISを統合して、3次元都市モデルを構築した。また、上田<sup>5)</sup>らはGISデータをもとにOpenGL等のグラフィックライブラリを使って、3次元CGの建物データ群を自動生成しようという試みもある。しかし、OpenGL等のグラフィックライブラリを使って、3次元都市モデルを自動生成する試みは原理的には可能でも、多大のプログラミング、システム開発が必要で、現在のところ、大規模で精緻な3次元都市モデルを生成するシステムは完成していないと考えられる。

本研究では、屋根や窓などのディテールを持つ建物、道路その他の都市の構成物を自動的に生成することを目指す。自動生成する方法として、本研究では建物ポリゴンと属性データを蓄積・管理できるGISと3次元CGオブジェクトを生成できるCGソフトを統合化する方法をとった。即ち、GISの方で管理している都市の構成物の

位置データや形状を決める属性データを自動生成の「設計仕様データ」として、CGモジュールが3次元CGソフトをコントロールして、都市モデルの構成物を自動的に作っていくシステムを開発した。本システムでは、GISの管理する広範な領域のディテールをもつ都市モデルを、手作業を減らして、自動生成することができる。次に、本自動生成システムを活用する事例として、容積率や建蔽率、斜線制限等の用途地域制や建築基準法の諸形態制限を現実の3次元の世界に適用するシミュレーションを行った。本システムを使えば、規制や制度を変えると、街並みはどう変わるかを検討することができる。

## 2. 本研究での都市モデル自動生成の流れ

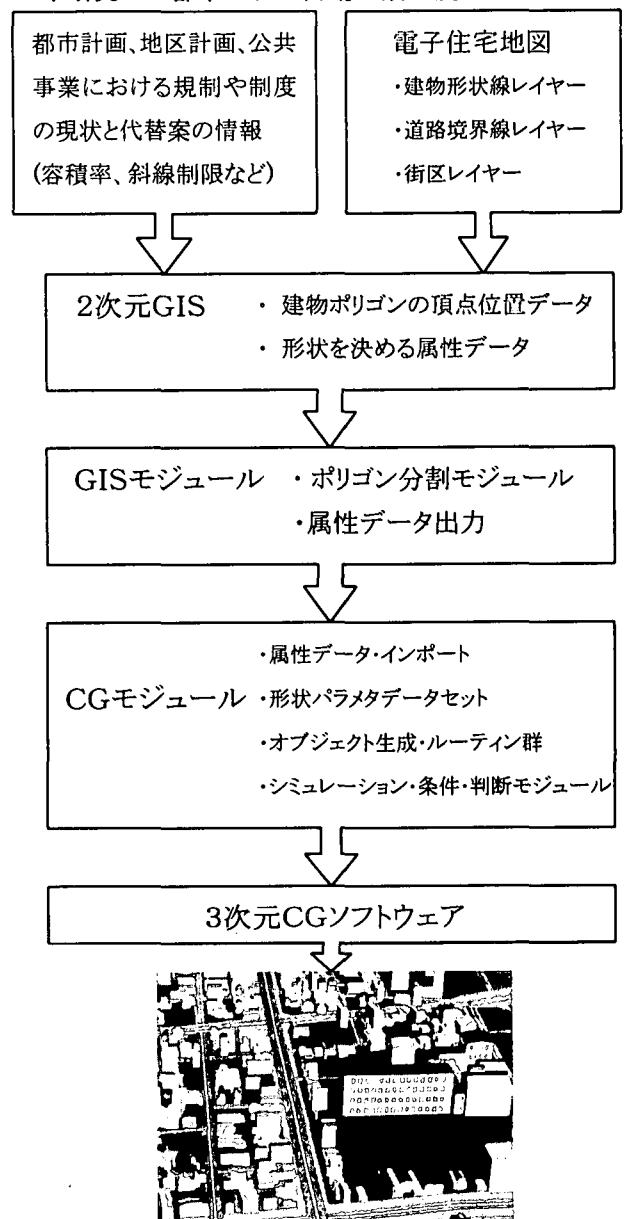


図-2 本システムのデータ処理のフロー

3次元都市モデルを実現するには、都市の建物や道路その他のオブジェクトの3次元形状やサーフィス、材質を再構築しなければならない。3次元都市モデルを構成するオブジェクトの形状やマッピングデータの制作は手作業に依存し、莫大なコストと時間が必要とされるのが現状である。そこで、2次元GISが管理する電子住宅地図で、その上のオブジェクト、主に建物形状線のポリゴンに注目して、ポリゴンの頂点の位置情報と属性データを出力するモジュールをGIS用のソフト部品を使って、開発した。次に、GISモジュールから位置情報や属性データを受け取り、それらに基づいて、3次元CGソフトを制御して、CGオブジェクトを自動生成するCGモジュールを開発した。

3次元都市モデルのデータソースとなるものは、国土地理院の数値地図、ゼンリン等の住宅地図会社の電子住宅地図となる。それらをGISで取り込み空間データ基盤とする。規制や制度のシミュレーションを行う場合、それに都市計画や建築基準法の規制となる容積率や斜線制限などを属性データとして入力し、GISを構築する。本システムは蓄積された容積率や建蔽率、斜線制限に基づいて、建物可能な最大限の閉面(エンベロップ)を自動生成する。この3次元モデルは複数ある規制や制度を実際の都市のエンベロップ群に適用した結果、全体として街並みはどういう姿になるのかを示し、規制や制度の3次元のたたき台とすることができる。

### 3. GISモジュール

#### 3.1 GISオブジェクトのデータ構造

市販の2次元GISが地図上のオブジェクトの位置情報や属性データをCGモジュールが取り込めるような形式で出力する機能はない。そこで、GISソフト部品(エスリ社、MapObjects2.0)を使って、CGモジュールが取り込めるような形式で、データを出力するGISモジュールを開発した。2次元GISが管理する地図上のオブジェクトは次のようなデータ構造を持つ。敷地や建物の形状を表現するポリゴンオブジェクトは図3に示すメソッドとプロパティをもつオブジェクトとして取り扱われる。ポリゴンオブジェクトは、図3に示すようなドーナツ形状やハワイ群島のような複数の頂点群(Points)からなるものを Parts コレクションとして持つ。図4で階層構造を示すように、ポリゴンオブジェクトは下位構造として、Parts、Points、Point オブジェクトをもち、ドーナツ形状や群島を1つの

エンティティとして、まとめて取り扱う。

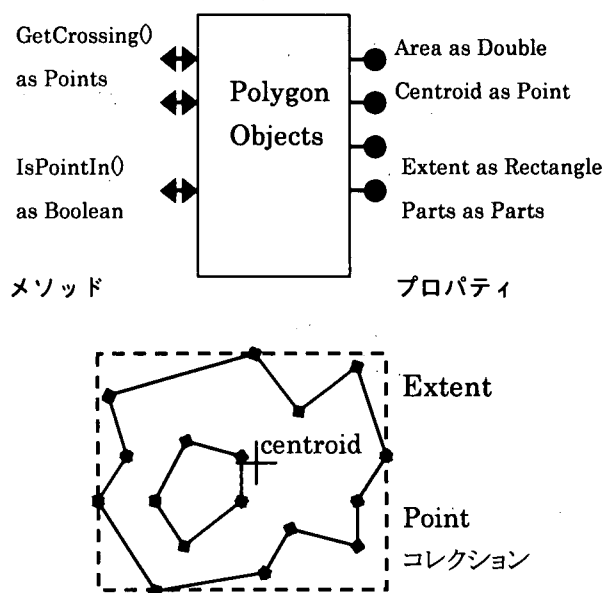


図-3 ポリゴンオブジェクトのデータ構造(GIS)

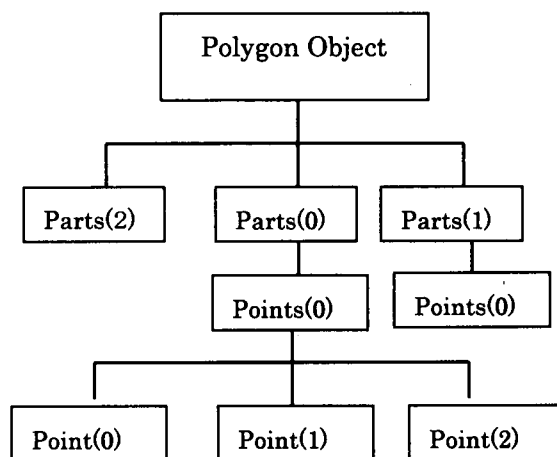


図-4 ポリゴンオブジェクトの階層構造

#### 3.2 本研究の根拠とポリゴンデータ表現

建物形状線である建物のポリゴンは図-5のマップに示すように、頂点の角度の大半は90度前後である。このことはポリゴンの辺が曲がる時、その曲がる向きは元の辺に対して右に90度曲がるか、左に90度曲がるのかの2通りに限定されることを意味する。辺の曲がり方が2種類しかないとなると、ポリゴンの頂点数によって、ポリゴンがとる形状のパターンが決まり、その数を計算できる。また、頂点の角度が90度前後であるというのは、多くの建物は3次元CGでのプリミティブ図形となる直方体を組み合わせた形状をしていると判断できる。

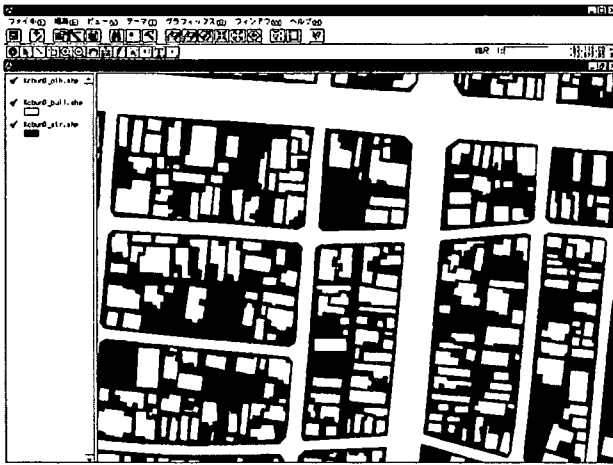


図-5 電子住宅地図の例（ゼンリン、大垣市内）

建物はCGモジュールが3次元CGソフトを制御して生成する。建物ポリゴンに建物を割り当てる際に、CGの基本オブジェクトである直方体等のプリミティブ図形を割り当てられるようにGIS上の建物ポリゴンを分割する必要がある。そこで、本研究では、次の2つの仮定を元にしてシステムを開発した。

- (1) ポリゴン頂点の角度は90度である。
- (2) ポリゴン頂点の数は4から10数点までの少ない数が大半である。

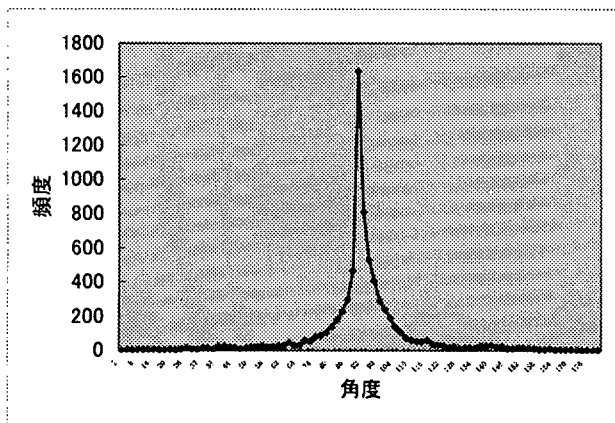


図-6 建物ポリゴンの各頂点の角度

上記仮定を検証するために、建物ポリゴンの各頂点の角度を計算した。建物ポリゴン上の隣り合う2辺(segment)の内積を使って、以下の計算式で角度を求めた。

$$\theta = \arctan \sqrt{\frac{(\text{length of segment1})^2 (\text{length of segment2})^2}{(\text{inner product of 2 segments})^2} - 1}$$

大垣市内の住宅地において、1500ポリゴンについて調べ、各頂点の角度の頻度を図-6のヒストグラムにま

とめた。グラフから明らかなように建物の曲がり角がほぼ90度前後である。また、ポリゴン頂点数は建物形状がとりうるパターンの数に影響するので、建物ポリゴンの頂点数についても、同じ地域で調べた(図-7)。

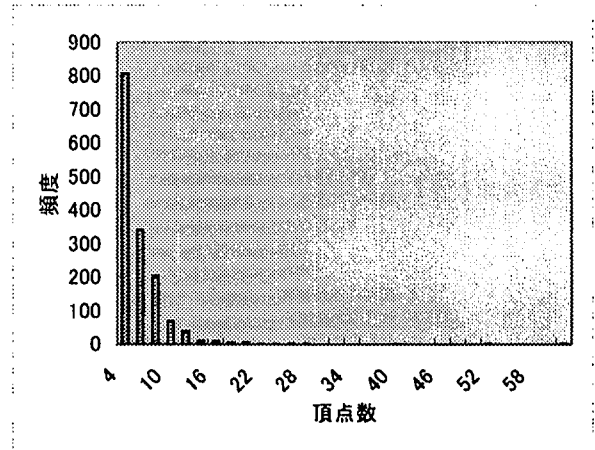


図-7 建物ポリゴンの頂点数の頻度

頂点数は10点までで、全体のポリゴンの94.9%を占める。このことは本研究の仮定が成り立つ根拠となる。例えば、建物ポリゴンは、以下のような形状をしていれば、ポリゴンは辺の曲がる方向の集合で表現できる。

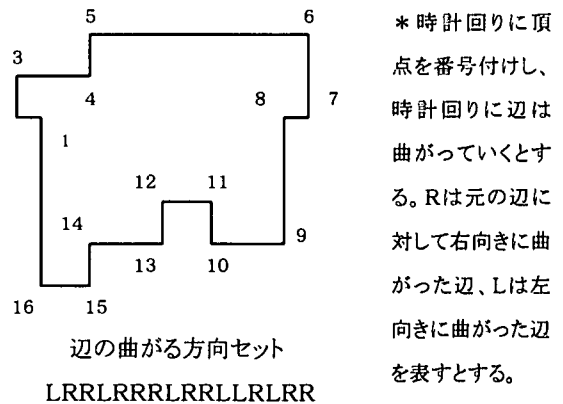


図-8 建物ポリゴンの例と辺の方向セット

ここで、ポリゴンの頂点数と右曲がり辺の数と左曲がり辺の数の間には以下の関係が成り立つ。

- (1) 頂点数=(右曲がり辺の数)+(左曲がり辺の数)
- (2) (右曲がり辺の数)-(左曲がり辺の数)=4

ポリゴンの頂点数によって、ポリゴンの取りうる形状は決まる。6点の頂点のポリゴン(以下6点ポリゴンとする)の場合、左曲がり辺は1つしかないので、辺の長さや相対的な辺の比を無視すると、形状パターンは1種類である。次に、8点の頂点のポリゴンは下の4種類ある。

LLRRRRRR, LRLRRRRR, LRLLRRRR, LRRRLRRRR

以下、頂点数の多い建物ポリゴンの取りうる形状の数は、同じものを含む円順列の式で与えられる。

(1) 10頂点ポリゴン

$$\frac{10!}{7!3!} \times \frac{1}{10} = 12 \text{通り}$$

(2) 12頂点ポリゴン

・3個の循環節がある場合    ・6個の循環節がある場合

$$\frac{3!}{2!1!} \div 3 = 1 \text{通り} \quad \left( \frac{6!}{4!2!} - \frac{3!}{2!} \right) \div 6 = 2 \text{通り}$$

・循環節がない場合

$$\left( \frac{12!}{8!4!} - \frac{6!}{4!2!} \right) \div 12 = 40 \text{通り}$$

合計 1+2+40=43通り

頂点数が増えると、幾何級数的に場合の数は増える。

### 3-3 GISモジュールからの出力データ

GISモジュールは以下のデータを出力する。GISモジュールでは、CGモジュールのデータ処理の負荷を減らすために、多頂点の建物ポリゴンを分割する処理を行う。最後の(13)のデータは、8点以上の頂点からなるポリゴンを、後述するポリゴン分割アルゴリズムによって、枝を分割して、6点ポリゴンまでブレイクダウンした6頂点のセットである。枝の分割の仕方によって、6頂点のセットの数は変わるので、可変長となる。

- |                  |                        |
|------------------|------------------------|
| (1)ポリゴンの頂点数      | (9)建物のタイプ              |
| (2)各頂点の座標        | (10)基準容積率              |
| (3)ポリゴンの各辺の長さ    | (11)前面道路の幅員による容積率      |
| (4)ポリゴンの各頂点の角度   | (12)斜線制限を受ける道路の番号候補となる |
| (5)辺の曲がる向き(RL情報) | (13)6点ポリゴン頂点の座標(可変長)   |
| (6)建物の階数         |                        |
| (7)建物の色、テクスチャ    |                        |
| (8)屋根の色、テクスチャ    |                        |

## 4. CGモジュール

### 4-1 ポリゴンへのプリミティブ割当

3次元CGソフトを使つてのCG制作では、プリミティブ図形のブール演算を行うことでCG作成を行うことが多い。本研究でも、建物ポリゴンにプリミティブ図形を割り当てる。そのために、頂点数が6点以上の建物ポリゴンをプリミティブ図形(この場合、長方形)に分割する必要

がある。建物CGをプリミティブ図形のブール演算で生成する理由を次に示す。

- (1)プリミティブ図形は、その長さ、幅、高さなどのプロパティを容易に取得し、制御することができる。
- (2)プリミティブ図形の制御点は明確で、位置や方向を容易に制御できる。
- (3)プリミティブ図形は通常、数式で表現することができ、データ量を削減できる。これは、建物の数が増えてきたとき、特に重要である。
- (4)建物ポリゴンデータ作成時の誤差を、ポリゴン形状をプリミティブにすることで削除できる。
- (5)プリミティブ図形は、NURBS(非定形論理的Bスプライン)変換して、複雑なモデリングができる。

### 4-2 ポリゴンへの建物割当アルゴリズム

本研究で利用したGISでは、取り扱うポリゴンの頂点群は、次の条件が成り立つ。

- (1)各辺の両端の頂点は他の辺の上に存在しない。
- (2)任意の2辺は頂点以外で交差していない。
- (3)各頂点は2本の辺に接続している。

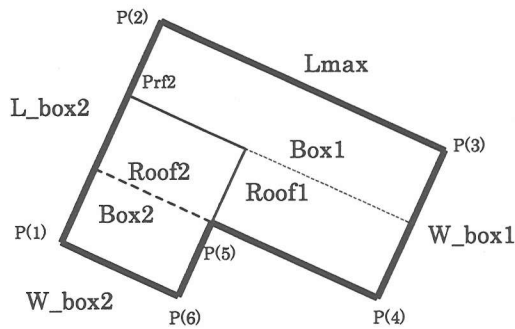
上の条件が成り立つ建物ポリゴンへの建物と屋根を割当る。建物と屋根を配置する基本単位となる6点ポリゴンに割当るアルゴリズムを次のように考えた。

- (1) 6辺の中で最長の辺(Lmax)を見つけ、それを Box1 の長さとその方向とする。
- (2) Lmax に隣合う辺で、長い方の辺の長さ向きを2つ目の直方体(Box2)の長さ(L\_box2)、Box2 の方向とする。
- (3) 短い方の辺を Box1 の幅(W\_box1)とする。
- (4) L\_box2 の隣で、Lmax ではない側の辺を Box2 の幅(W\_box2)とする。
- (5) Box2 の長さは最終的に(L\_box2 - W\_box1)
- (6) Roof2 の長さは(  $L\_box2 - \frac{W\_box1}{2}$  )
- (7) Roof2 の端の位置を決める点 Prf2 は次の式で求める。  
distance of P(1)&P(2) >= distance of P(3)&P(4)の場合

$$Prf2 = P(1) + (P(2) - P(1)) \times \frac{L\_box2 - 0.5 \times W\_box1}{L\_box2}$$

distance of P(1)&P(2) < distance of P(3)&P(4) の場合

$$Prf2 = P(1) + (P(2) - P(1)) \times \frac{0.5 \times W\_box1}{L\_box2}$$



\*各頂点の座標は時計回りの向きで与えられる。

図-9 6点ポリゴンへ建物&屋根割当てアルゴリズム

6点ポリゴンを2つの長方形に分割し、その長方形上に直方体プリミティブ(Box1とBox2)をマウントする。直方体に屋根(Roof1とRoof2)を割り当て、それらのブール演算で建物を生成する。ここで、長方形の長辺をその長方形の長さ、長辺の向きをその長方形の向きとする。

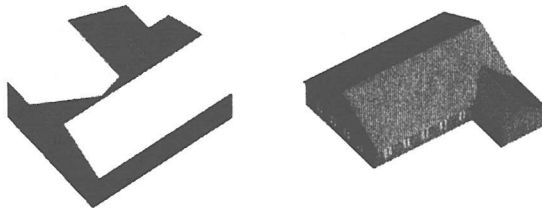
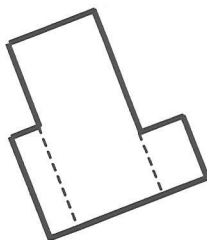


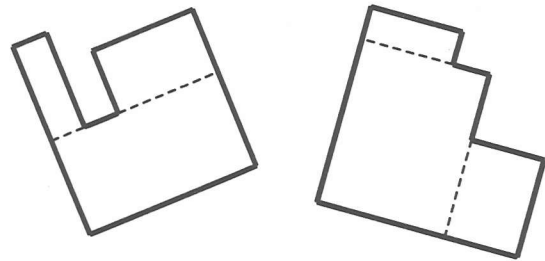
図-10 6点ポリゴンへ建物&屋根の割り当て例

6点以上の頂点から成り立つポリゴンについては、中心となる領域とそれに付着した「枝」に分割して、6点ポリゴンにブレイクダウンし、6点ポリゴンへの建物&屋根の割り当てアルゴリズムを適用する。本アルゴリズムで、ポリゴンは辺の曲がる向きでデータセットで表現できるとしたが、「枝」の部分でR(右曲がり)が続いた後のL(左曲がり)までとみなす。辺が逆向きに曲がる頂点に注目し、その頂点から逆向きに線を伸ばして、枝を分割する方法を考えた。8点ポリゴンについて、枝を分割するアルゴリズムを適用した。8点ポリゴンは4種類の形状パターンを持ち、それらに対して、分割アルゴリズムを適用した。



LRRLRRRR型

この型では、2つのLの間には2つのR、4つのRがある。4つ続いたRの後となるLの頂点にて、L向きとなった辺を逆向き(測定する向きに対して)に線を伸ばして、枝を分割する。分割されて、6点となったポリゴンに対して、「建物&屋根割当てアルゴリズム」を適用して、建物と屋根を配置する。次に、もう1つのL向きとなる頂点では、測定する向きと同じ向きに、Lの直前のR向きとなる辺を伸ばして、枝を分割する。やはり、6点のポリゴン頂点セットが得られるので、それに対して、アルゴリズムを適用する。

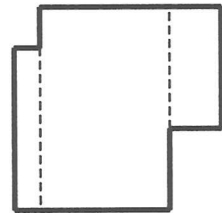


LLRRRRRR型

LRLRRRRR型

LLRRRRRR、LRLRRRRRの型では、LRRLRRRRの型と同様に、分割線を引いて、枝を分割できる。循環節のあるLRRRLRRRの型では、両Lの頂点で、L向きとなった頂点で逆向きに線を伸ばして、枝を分割する。

RRLRRRLR型



両Lの頂点で、L向きとなった辺を逆向きに線を伸ばして、交点を求め、枝を分割する。

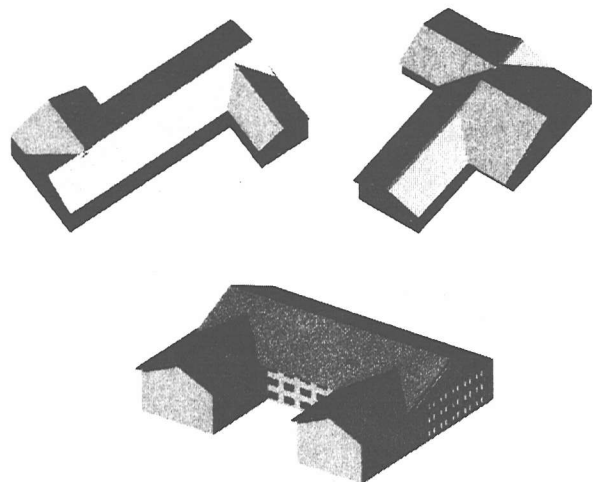


図-11 8点ポリゴンへ建物&屋根の割り当て例

### 4-3 建物生成モジュール

GISモジュールから渡されるデータに基づいて、3次元CGソフトをコントロールするCGモジュールが都市モデルの構成物を自動生成する。建物のタイプ(ビルディング、切り妻屋根の住宅、寄せ棟屋根の住宅など)、ポリゴンの頂点数で場合分けして、建物を生成していく。建物の形状を決める形状パラメタは膨大であるが、建物を数千軒生成して、街並みを形成するには、GISにおけるフィールド数を膨大にできないために、パラメタを限ったラフな建物の生成に絞った。屋根付き建物に対して、以下のようなパラメタを指定して、形状を決めた。

#### 屋根付き建物に対する形状パラメタ

- |                                 |                |
|---------------------------------|----------------|
| (1)建物ユニット(Box1 等)の高さ            |                |
| (2)建物ユニットの長辺に対する基準窓間隔           |                |
| (3)建物ユニットの短辺に対する基準窓間隔           |                |
| (4) 基準窓間隔に対する長辺での水平と垂直方向の窓の割合   |                |
| (5) 基準窓間隔に対する短辺での水平と垂直方向の窓の割合   |                |
| (6)窓の垂直方向の位置                    |                |
| (7)屋根の勾配                        | (8)寄せ棟屋根の頂線の比率 |
| (9)2階部(Box3)の長辺の Box1 の長辺に対する割合 |                |
| (10)2階部の短辺の Box1 の短辺に対する割合      |                |
| (11)2階部の位置                      |                |

建物を構成する建物ユニット(この場合、Box1、Box2、Box3)に対して、上の(1)~(8)のパラメタをそれぞれ持たなければならないので、パラメタの数は多くなる。そこで、パラメタ群をテーブルとして、プログラム中に配置し、GISから受け取る建物タイプに応じて、テーブルの中からパラメタ群を選択することにした。



図-12 同一の6点ポリゴンの敷地に対して異なるパラメタセットを使って自動生成した建物群

建物はフィールドワークあるいは上空からの写真を調

べることで、その形状を決定する。そのとき調査者は、異なるパラメタ群で生成した形状の異なる建物群の候補の中から最も近いものを選んで、建物タイプを決めていく。例えば、同一の6点ポリゴンの敷地に対して、異なるパラメタセットを与え、建物候補群を自動生成し、フィールド調査時に、調査者はこの中から、現実の建物に最も近いモデルを選択する。

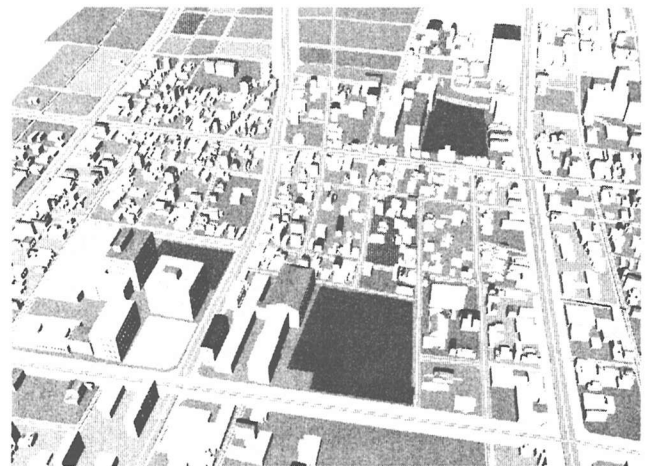


図-13 自動生成した3次元都市モデル

### 5. 3次元都市モデルの活用事例

建築物の形態を決める制度や規制として、「用途地域制」、「建築基準法」が存在する。これらの制度や規制により、建物が建ててもよい最大限の閉面(エンベロップ)は決定される。例えば、道路や隣地から斜線制限の形状そのままが建物の姿になった「斜線ビル」が都心でよくみられる。容積率の最大を目指して建物が建てられるような地域では、各建物の「エンベロップ」が描く閉曲面群は、ある程度、都市の姿、景観を仮想的に形づくるものとなる。本研究で自動生成する「3次元都市モデル」は、3次元化されたバーチャルな都市空間に規制や制度を適用して実験する「3次元のたたき台」として活用できる。通常、2次元の図面で描かれ、説明されているこうした規制や制度を3次元空間でシミュレーションして、3次元空間にて、制度や規制の認識を支援するとともに、「3次元都市モデル」は複数ある規制や制度を個々の建物に適用した結果、全体として街並みはどういう姿になるのかを示すことができる。以下の事例において、前面道路による勾配 1.5 の斜線制限を、適用距離30mとして、エンベロップに対して適用した。

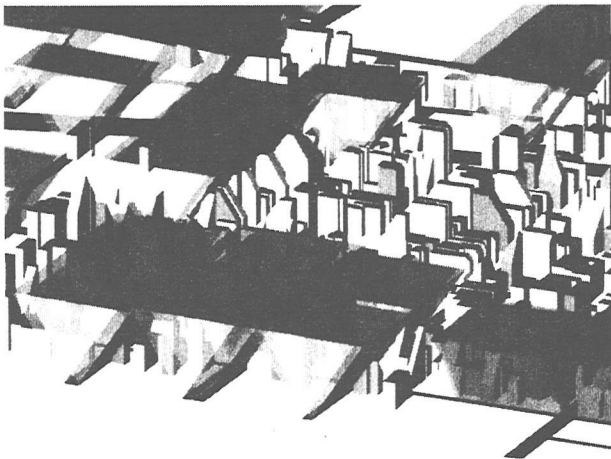


図-14 建物と斜線制限となるプリズムの関係

前面道路の反対側の境界線から適用距離の範囲内で、当該敷地側の上空に向かって一定の勾配の斜面を作るために、境界線を頂線とする下向きのプリズムを生成し、規制が適用される建物と差のブール演算を行った。制限となるプリズムと建物の関係を図-14、その結果制限されたエンベロープを図-15に示す。

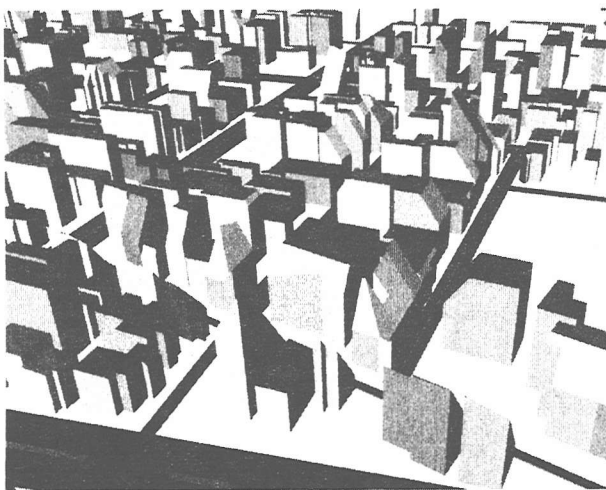


図-15 斜線制限されたエンベロープ

## 6. むすび

本研究では、3次元都市モデル制作において、2次元電子地図上の都市の構成物とその属性データを蓄積・管理できるGISと、仮想空間に3次元CGオブジェクトを生成できるCGソフトを統合化して、それらをコントロールし、都市の構成物を自動生成するシステムを提案した。3次元都市モデルは、従来の2次元の地図と異なり、現実の3次元の世界を写像するものである。CGによって、まちの3次元モデルを作り、プロトタイプとして使うことは、

ものづくり、即ち、製品開発において、製品の出来上がりをCADで作る、デザインや性能を検討することと同様である。ものづくりにおいて、コンピュータ上で製品を試作することは、よりよい製品を開発するのに必要不可欠で、この出来上がりを仮にコンピュータで作ってみるというプロセスをまちづくりにも生かすことはよりよいまちづくりに有効である。CGによる3次元都市モデルは規制や制度のシミュレーション、区画整理、地区計画、まちづくりの試みにおいて、行政、専門家だけでなくとどまらず、住民や一般市民、学生に対しても「わかりやすい」、「検討しやすい」モデルを提供することになる。

謝辞 本研究の一部は、文部省の科学研究費補助金(基盤研究(C) 課題番号11650568)、通信・放送機構(TAO)の地域提案型研究開発制度に係わる研究開発で課題“地域福祉情報ネットワーク構築における基盤技術研究”として研究助成を受け、ここに謝意を表す。

## 参考・引用文献

- 1) 納富 幹人、小澤史朗(1998): 移動体観測による都市モデル構築、電子情報通信学会誌、Vol.J81-D-2, No.5, pp872-879、電子情報通信学会
- 2) Chunxiao Li(1998): Building 3-D Information Acquisition from 2-D Spatio-Temporal-Image, UM3(Urban Multi-Media/3D Mapping), pp118-124, UM3
- 3) Ryosuke SHIBAZAKI(1998): Automatic Object Extraction from Simulated High Resolution Satellite Imagery, UM3 (Urban Multi-Media /3D Mapping)'98, pp1-6, UM3
- 4) Michael GRUBER(1998): The Cyber-City Concept from 2D GIS to the Hypermedia Database, UM3(Urban Multi-Media/3D Mapping)'98, pp1-6, UM3
- 5) 上田 穰、星 仰(1999): 市街地景観シミュレーション用データの効率的な収集とそのGISデータベース、土木情報システム論文集 Vol.8, (社)土木学会。
- 6) 日端康雄(1988): ミクロの都市計画と土地利用、pp70-99、学芸出版社
- 7) 水谷清美、高橋友一(1998): インターネット上の3次元ナビゲーションにおけるインターフェイスの検討、電子情報通信学会誌、Vol.J81-D11, No.5, pp.925-932、電子情報通信学会
- 8) 谷崎正明、嶋田茂(1998): 能動型検索機構による空間情報提供方式と仮想都市構築への適用、電子情報通信学会誌、Vol.J81-D11, No.5, pp.1005-1013、電子情報通信学会