

- 8 3次元建物モデルの自動生成のための一般化建物ポリゴン分割法

Generalized Building Polygon Partitioning for Automatic Generation of 3-D Building Models

杉原健一¹・林良嗣²

Sugihara Kenichi, Hayashi Yoshitugu

抄録：建物ポリゴンとは、GISで蓄積及び管理される電子地図上の建物境界線のことである。我々はこの建物ポリゴンに基づいて、3次元建物モデルを自動生成するGISとCGの統合化システムを提案する。3次元都市モデルは、都市計画、まちづくり、防災、景観評価、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として利活用が期待される重要な「情報基盤」である。しかし、現状では、3次元都市モデルの主要な構成物である建物を3次元モデリングするのに、多大な時間と労力をかけている。そこで、本研究では、頂角が直角である建物ポリゴンを分割し、長方形の集まりとし、その上に建物の3次元モデルを配置して、3次元建物モデルを自動生成するアルゴリズムを提案する。分割する際、短冊状の長方形とならないように数ある分割線の中から、長方形の縦横比が1に近くなる分割線を採用して、分割処理を行い正方形に近い四角形の集まりとする手法を示す。

Abstract: Building polygons are buildings' contours on the digital map stored by GIS. Based on building polygons, we are proposing a GIS and CG integrated system to generate 3-D building models automatically. A 3-D urban model is the important information infrastructure that can be utilized in several fields, such as landscape evaluation, urban planning, disaster prevention simulation, etc. To realize a 3-D urban model, it is important to generate building models efficiently. However, in order to realize a 3-D urban model, time consuming process is necessary to acquire the spatial data and to design the models. In order to automate the laborious process, the system aims at creating 3-D building models automatically from building polygons. If the building polygon with more than 4 vertices has right angle only, then it can be divided in rectangles. We propose the useful polygon expression where the building polygon can be expressed as a set of its edges' turning direction (RL expression) and that decides from which vertex a dividing line (DL) is drawn.

キーワード： 3次元都市モデル、自動生成、3次元建物モデル、CG、GIS、ポリゴン分割

Keywords : 3-D Urban Model, Automatic Generation, 3-D Building Model, CG, GIS, polygon partitioning

1. はじめに

リモートセンシング等の技術を用いて、地上の建物や木々、山などの形状、色などの情報を取り込み、都市の3次元モデルを作って、それを活用しようという研究がさかんである。現実の都市を仮想空間に取り込み、3次元都市モデルを作成するとき、建物は主要な構成物である。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、景観評価、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、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。欧米では、もっと活用がさかんで、アメリカの主要な都市の3次元モデルは既にできていて、その不動産情報を提供する、あるいは携帯電話の電波が通るかどうかを検討するために活用されている¹⁾。現状では、こ

れらの3次元都市モデル構築のために、建物等の形状データ取得や3次元モデル作成には、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。例えば、屋根付き3次元建物モデルをCSG(Constructive Solid Geometry)で作成する場合、制作者は、次に示す(1)から(5)の労力のかかる手順に従って、モデリングを行っている。

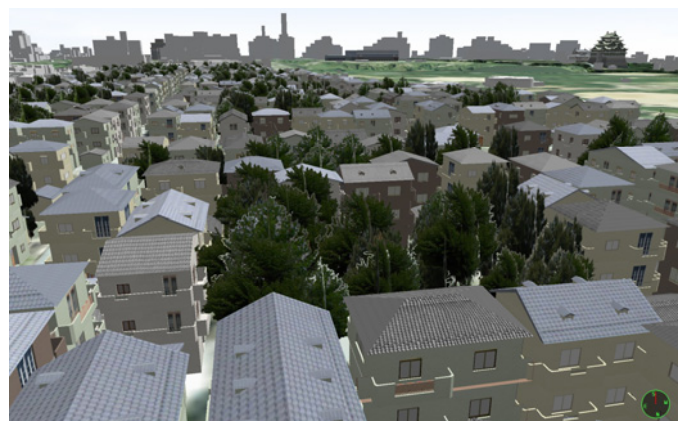


図-1 都市再生プロジェクトの案となる本システムで自動生成した3次元都市モデル

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 名古屋市中種区不老町, Tel :052-789-2772, E-mail : yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp)

- (1)屋根や建物本体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)これらの基本立体の間で、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。

本研究では、上記の作業を自動化するために、電子地図上の建物境界線(建物ポリゴン)が、その頂角が全て直角であるポリゴン(直角ポリゴン、orthogonal polygonと呼ばれている²⁾)である場合、それを「長方形の集まり」に分割処理して、前記CSGの手法で、各長方形上に建物の3次元モデルを自動的に作成するシステムを提案する。この分割処理において、分割してできる長方形が、短冊状の長方形とならないように、複数の分割線の候補の中から、長方形の縦横比が1に近くなる分割線を採用する。本研究では、複雑な形状をした直角ポリゴンを分割して、正方形に近い四角形の集まりとするアルゴリズムを示す。

2. 既往の研究

3次元都市モデルは、まちづくりや不動産情報提供等をはじめとして、広範囲で多目的に利活用が期待される情報インフラであるため、3次元建物モデルを自動的にあるいは半自動的に構築する研究がさかんである^{3) 4) 5)}。3次元建物モデルは、航空写真や衛星写真からパターン認識やコンピュータビジョンの技術を用いて、建物ポリゴンを抽出し、建物の3次元モデルを自動生成あるいは半自動生成する。しかしながら、建物ポリゴンは、航空写真等からパターン認識のソフトウェアで抽出できる場合もあるが、地物の複雑さや多様性、パターン認識ソフトの能力不足等で、実用に耐えられるレベルでの完全自動抽出は達成されていないとされる⁶⁾。

Gruen と Wang⁶⁾ は、建物の3次元モデル構築のための半自動トポロジー生成システム、CC-Modelerを開発した。航空写真中の地物に対して、そのものが何であるかの認識と写真中でのそのものの頂線上や輪郭線上の点測定を手動で行う。1つの地物に属する点群は、それらの構造や機能に応じて、輪郭点か内部点(主に屋根の頂線の端点)かに分類される。これらの手作業による測定の後、CC-Modelerは、面を構成する点群を決め、屋根面や壁面などの位置や向きを決定し、建物の3次元モデルを構築していく。

Suveg と Vosselman⁴⁾ は、航空写真から建物境界線を抽出し、建物モデルを自動的に再構築する知識ベー

スのシステムを提案した。このシステムのプロセスは、GIS上の建物ポリゴンが、その頂角は直角で、単純な長方形でない場合、それを分割することから始まる。ポリゴン形状によって、分割のスキームが多数ある場合がある。そのようなポリゴンに対して、MDL(Minimum Description Length)⁷⁾に基づいて、分割の結果できる長方形の数が少ないものに対して、分割の優先度を与える。しぼられた分割スキームの候補の中で、人間が判断して、最適な分割を採用する。これらの分割されたポリゴンに対して、CSGを用いて、3次元建物モデルを生成し、ポリゴン上に3次元モデルを載せる。

Fischer⁵⁾らは、コンピュータビジョンの技術を用い、雛形となる建物の3次元モデルを実際の建物に当てはめることで、建物の3次元モデル構築を試みている。これは、建物の3次元雛形モデルをあらかじめ用意し、同一の建物を写した複数のステレオ写真に3次元雛形モデルを表示する。構築の手順は、手作業で航空写真中の建物のコーナーを見つけることから始める。同一の建物を写した別のステレオ写真上の建物の雛形モデルのコーナーを建物の写真上のコーナーに手作業で一致させ、3次元空間上で雛形モデルのコーナーを決定する。雛形モデルが正確かどうかを確認するために、雛形モデルは複数のステレオ写真上に写し出され、建物の各面の輪郭線と一致するか確かめられる。うまく一致した場合、建物の3次元モデルが構築されることになる。

これらのシステムやアプローチは、正確なサイズの基本立体(プリミティブ、直方体やプリズムなど)から成る建物の3次元モデルを提供する。但し、これらは窓や玄関、ドア、ベランダといった建物の詳細を持っていない3次元モデルである。3次元都市モデルを活用する分野では、例えば、住民参加型のまちづくり等において、まちづくりの色々な案を提示するとき、窓や玄関、ドア、ベランダといった建物の詳細を有する3次元モデルが一般の人々に分かりやすく、合意形成を容易にし、住民参加を促すことになる。

また、本研究で目指すシステムは、デザイナー等が描き、将来の街の案となる電子地図に基づいて詳細な3次元建物モデルを自動的に造り出す機能を持つ。この機能は国内外の既往の研究には見られない。まちづくりや都市計画において、デザイナーやプランナーなどの専門家が、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、自動的に街の3次元モデルに変換できれば、利用価値は大きい。本研究では、電子地図に基づいて、詳細な3次元建物モデルを自動生成するシステムの開発を目指した。

3. 建物ポリゴン分割法

(1) 建物ポリゴンの表現法

衛星写真や航空写真、それを加工したオルソ画像が、リモートセンシング技術の発達により、比較的容易に利用できるようになった。高精細度のカメラやレーザー機器を搭載した人工衛星や航空機は、日常的に、上空から地表を撮影し、オルソ画像を提供している。このオルソ画像に基づいて、地図製作会社では、デザイナーを使い、多大の工数をかけ、建物や道路、河川などの境界線を描き、電子地図を製作している。地図製作会社が作成した電子住宅地図を図-2に示す。



図-2 地図製作会社が作成した豊田市の電子地図

図-2から分かるように、多くの建物ポリゴンは頂角がほぼ直角の多角形(直角ポリゴン)である。これは、日常、我々が都市の建物を眺めたとき、建物のコーナーがほぼ垂直に交わる壁でできた建物が多いことと一致する。この頂角が直角の建物ポリゴンの頂点を時計回りに番号付けする。建物ポリゴンの頂点を追っていくと、辺は前の辺に対して、直角に右か左に曲がることになる。従って、建物ポリゴンをその辺の曲がる向き(右か左)で表現することができる。ここで、右に曲がる辺を「R」、左に曲がる辺を「L」とすると、図-3の建物ポリゴンの場合、「LRRLLRRLRRLRLLRRRL」と表現できる。ここで、Rは右曲り辺、Lは左曲り辺を表す。この表現方法を「RL表現」とする。

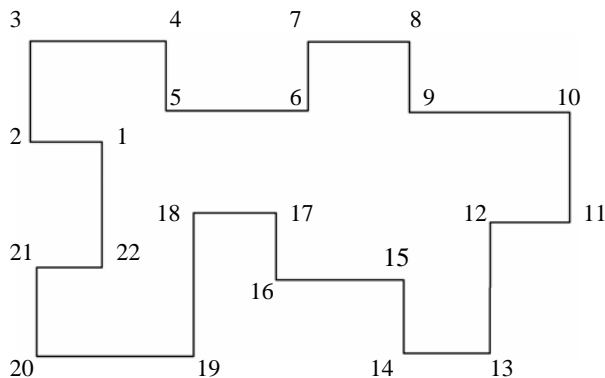


図-3 時計回りに頂点到番号付けした建物ポリゴン

この「RL表現」の利点を次に挙げる。

- (1) 頂角が直角のポリゴンの「辺長に依存しない形状パターン」を特定できる。
- (2) 分割線を引ける頂点を決定できる。

ポリゴンは閉じているので、「右曲り辺の数」は「左曲り辺の数」より4つ(360度分)多くなる。全ての頂角が直角のポリゴンの「頂点数: n_v 」、「右曲り辺の数: n_R 」、「左曲り辺の数: n_L 」の間には、次の関係が成り立つ。

$$\begin{aligned} n_R(\text{右曲り辺の数}) + n_L(\text{左曲り辺の数}) &= n_v(\text{頂点数}) \\ n_R(\text{右曲り辺の数}) - n_L(\text{左曲り辺の数}) &= 4 \end{aligned} \quad (1)$$

頂点数が6のポリゴンを、RL表現で表現すると、左曲り辺の数は1つだけで、「LRRRRR」となる。ポリゴンがとりうる「辺長には依存しない形状」の数は、L字型、1種類となる。

頂点数が8のポリゴンを同様にRL表現すると、「LRRRRRRR」、「LRLRRRRR」、「LRRLRRRR」、「LRRRLRRR」の4種類となる。この数は、同じものを含む円順列の公式を用いて、以下のように算出できる。

$$\begin{aligned} \text{8点ポリゴン:} \quad & \text{循環節なし} & \text{循環節あり} \\ & \left(\frac{8!}{6!2!} - \frac{4!}{3!1!}\right) \div 8 = 3 & \frac{4!}{3!1!} \div 4 = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

合計: 3+1=4通り

ここで、循環節とは、「LRRRLRRR」のパターンに見られるように、最初の4つの「LRRR」パターンが繰り返す円順列のことである。「循環節なし」の場合は、「循環節あり」の順列の数を引いて、算出する。頂点数が多くなると、順列の数は幾何級数的に増加するが、図-2に示すように、多くの建物ポリゴンの頂点数は多くとも、12頂点ぐらいまでである。以下に12頂点の建物ポリゴンのとりうる形状パターンの数を算出する。

$$\begin{aligned} \text{12点ポリゴン:} \\ \text{4つの循環節:} \quad & \text{2つの循環節:} & \text{循環節がない場合:} \\ \frac{3!}{2!1!} \div 3 = 1 & \left(\frac{6!}{4!2!} - \frac{3!}{2!1!}\right) \div 6 = 2 & \left(\frac{12!}{8!4!} - \frac{6!}{4!2!}\right) \div 12 = 40 \end{aligned}$$

合計: 1 + 2 + 40 = 43 通り (3)

(2) ポリゴン分割手法

提案するポリゴン分割手法では、任意の頂点数のポリゴンを、長方形の集まりまで分割する。筆者らが提案した分割手法⁸⁾では、8頂点までのポリゴンしか分割処理ができなかったが、本研究で提案する分割手法は、任意の頂点数のポリゴンを分割することが可能である。この手法では、分割処理の結果、できあがる長方形が、細長い短冊状の長方形に、できるだけなら

いように、複数考えられる分割線の候補の中から、最適な分割線を選択する。分割手法を次にまとめる。

- (1)「切り取られる図形が長方形」となる分割線を分割線候補とする。
- (2)複数の分割線候補の中で、形成される長方形の「縦横比(長方形の長辺に対する短辺の比率)」が1に近い分割線を優先する。

RL表現において、右曲り辺の起点をR頂点、左曲り辺の起点をL頂点とする。分割線はポリゴン内部に向かって、起点の辺と垂直になるように引く。R頂点は内角が90度であるので、分割線を引くことはできないが、L頂点の内角は270度であることから、L頂点から分割線を2本引くことが可能である。従って、 n_v 個の頂点数の直角ポリゴン(n_v 点ポリゴン)の場合、可能な分割線数は、L頂点数(n_L)の2倍となるので、式(1)から、 $(n_v - 4)$ 本と算出される。可能な分割線を引いた建物ポリゴンを下の図-4に示す。

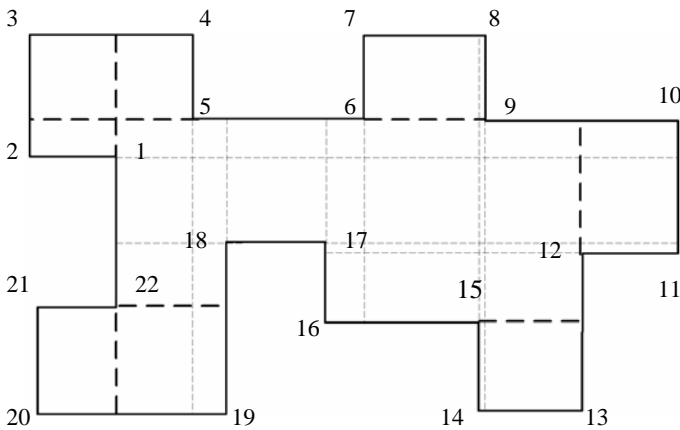


図-4 候補となる分割線を引いた建物ポリゴン

図-4において、 $(n_v - 4)$ 本の分割線の中で、切り取られる図形が長方形となるのは、太破線で示した分割線となる。本システムの分割アルゴリズムでは、太破線の分割線の中で、分割して形成される長方形が最も正方形に近くなる分割線を選んで、分割処理を実行する。分割線を引くことで、切り取られる長方形とポリゴン本体に属する長方形の2個の長方形ができる。この2つの長方形の内、長方形の縦横比が小さい方が最も大きい分割線を選んで、分割処理を行う。

本システムは、「切り取られる図形が長方形」となる分割線を次のようにして求める。システムが時計回りに頂点と辺を追っていく過程で、L頂点とL頂点の間のR頂点の数をカウントして、ポリゴンの「枝」を検出し、L頂点から分割線を引いて、長方形となる「枝」を切り取る。L頂点間のR頂点数が2個の場合、3個の

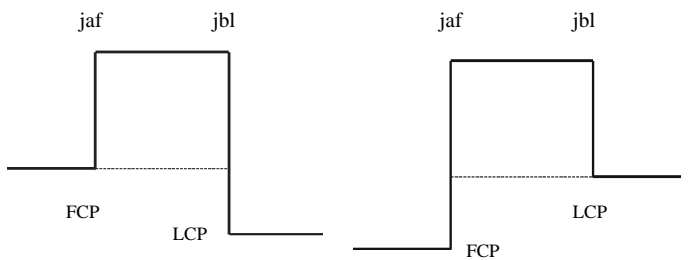
場合、4個以上の場合に分けて、次にそれぞれの場合で、L頂点の前後の辺の長さの長短に応じて、「切り取られる図形が長方形」となる分割線を決める。R頂点を挟む最初のL頂点をFCP(First Cut Point)、最後尾のL頂点をLCP(Last Cut Point)とする。FCPから時計回りの方向へ、LCPから反時計回りの方向に分割線を引くことができる。FCPの n 個進んだ頂点の添字を j_{naf} (n advanced FCP)、LCPの n 個前の頂点の添字を j_{nbl} (n before LCP)とする。ここで、 n は1以上の整数とする。例えば、図-4のポリゴンでは、次のように添字付けされる。

L R R R L L R R L R R L R R L ...
 FCP j_{af} j_{2af} j_{3af} LCP FCP j_{af} j_{3af} LCP(=FCP) LCP(=FCP)

分割線の引き方、即ち、どの頂点を起点とするか、どの辺との交点を求めるかは、L頂点間のR頂点の個数に応じて異なるので、以下、その個数に応じて場合分けを行う。ここで、頂点 j を起点とする辺を辺 j と記し、また、その辺の長さを $Len(j)$ とする。

最初に、図-5-1、図-5-2に示すように、L頂点間のR頂点数が2個($n_R=2$)の場合、辺FCPの長さが対向する辺(この場合、辺 j_{bl})の長さより長い場合か短い場合か等しいかによって、次の3つの分割線の引き方が考えられる。但し、いずれの場合も、辺FCPと辺 j_{bl} の間に回り込むポリゴン頂点が存在しないという条件が成立しないと分割線は引けない。また、いずれの場合も、FCPかLCPから2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺とFCP、LCPから伸ばした分割線が交点を持つ。この場合、FCPから伸ばした分割線と辺 j_{bl} 、LCPから伸ばした分割線と辺FCPが交点を持つ。

辺FCPの長さが辺 j_{bl} の長さより短い場合(即ち、 $Len(FCP) < Len(j_{bl})$)、FCPから、時計回りに2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺 j_{bl} と交差するように、分割線が引ける。不等号が逆の場合、 $Len(FCP) > Len(j_{bl})$ 場合、LCPを終点とする辺(辺 j_{bl})の起点から、反時計回りに2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺FCPと交差する分割線が引ける。これらの分割線も含め、全ての分割線は、分割線で形成される2個の長方形の縦横比を計算して、優先度が決められる。



Len(FCP) < Len(jbl) Len(FCP) > Len(jbl)
 図-5-1 $n_R = 2$ の場合 Len(FCP)とLen(j_{bl})の大小による分割線の引き方の2つのケース

この2つの場合では、削減できる本体ポリゴンの頂点数は2個である。Len (FCP) = Len (jbl) の場合、下の図5-2で示すように4点 FCP、jaf、jbl、LCP で長方形を形成でき、それを分割する分割線の縦横比を計算し、評価する。この場合、削減できる本体ポリゴンの頂点数は4個である。

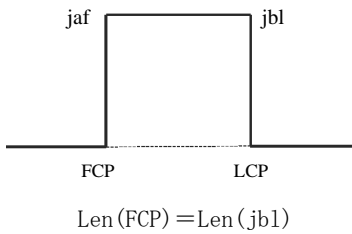
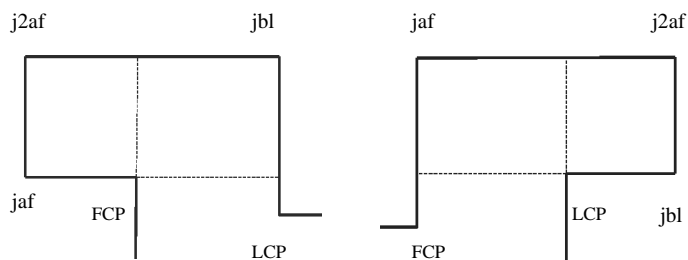


図-5-2 $n_R = 2$ の場合、Len(FCP) と Len(jbl) が等しい場合の分割線、4頂点FCP、jaf、jbl、LCPが長方形を形成

$n_R=3$ の場合、Len (FCP) とLen (j2af) が等しいか及びその大小、Len (jaf) とLen (jbl) が等しいか及びその大小で、3つのケースに場合分けする。いずれの場合も、辺FCPと辺j2afの間、及び、辺jafと辺jblの間に回り込むポリゴン頂点が存在しないという条件が成立しないと分割線は引けない。辺FCPが対向する辺(辺j2af)より短い場合(Len (FCP) < Len (j2af))、FCPから、時計回りに2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺j2afと交差するように、分割線が引ける。辺FCPの次の辺jafが対向する辺(辺jbl)より短い場合(Len (jaf) < Len (jbl))、FCPから、3頂点と4頂点離れた点を両端とする辺jblと交差するように、FCPから分割線が引ける。従って、この2つの不等式が両方成り立つときは、**図-6**の左上図に示すようにFCPから2本の分割線が引ける。

辺jblが対向する辺(辺jaf)より短い場合(Len(jbl) < Len(jaf))、LCP から、反時計回りに2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺jafと交差するように、分割線が引ける。辺jblの前の辺j2afが対向する辺(辺FCP)より短い場合(Len (FCP) > Len (j2af))、LCP から、反時計回りに3頂点と4頂点離れた点を両端とする辺FCPと交差するように、分割線が引ける。



Len (FCP) < Len (j2af) Len (FCP) > Len (j2af)
 Len (jaf) < Len (jbl) Len (jaf) > Len (jbl)

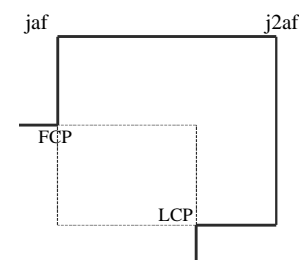


図-6 $n_R = 3$ の場合 Len(FCP)と Len(j2af)が等しいか及びその大小と Len(jbl) と Len(jaf) が等しいか及びその大小による分割線の引き方の3つのケース

この2つの不等式が両方成り立つときは、**図-6**の右上図に示すようにLCPから2本の分割線が引ける。

辺FCPが対向する辺(辺j2af)より短い等しく、辺jblが対向する辺(辺jaf)より短い等しい場合、即ち、Len (FCP) ≤ Len (j2af) 且つ Len (jaf) ≥ Len (jbl) の場合、**図-6**の左下図に示すように頂点 jaf、j2af、jbs で形成する長方形を分割することなく、重なり合う面積が小さい場合は独立した長方形として、分離する。この場合、3つの頂点 jaf、j2af、jbs から長方形の第4頂点となる頂点の位置を算出する。

n_R が4個かそれ以上の場合、連続する4個のR頂点が長方形を形成する場合以外は、 $n_R=3$ の場合の分割線を引く手法と同じ手法を用いる。これは、L頂点から「2頂点と3頂点離れた点を両端とする辺」または「3頂点と4頂点離れた点を両端とする辺」と交差する分割線しか、「切り取られる図形が長方形」となる分割線は存在しないからである。即ち、L頂点からR頂点が1頂点進むごとに、辺は前の辺に対して、90度回転する。FCPから3辺進んだ辺(辺j2af)は、FCPを終点とする直線と直交し、4辺進んだ辺(辺j2bl)は、L頂点を起点とする直線と直交し、切り取られる図形が長方形となる可能性がある。しかし、FCPから5辺進んだ辺(辺jbl)は、**図-7**の左上図に示すように長方形を形成する可能性があるが、**図-7**の右上図に示すように辺jblがFCPを終点とする直線と交差する場合は、辺jblがFCP側へ伸びて、ポリゴンがFCP側へ回り込む形となり、「切り取られる図形が長方形」とはならない。 n_R が5個以上の場合には、 $n_R=4$ の場合と同様に、ポリゴン形状は自ら回り込む形となり、「切り取られる図形が長方形」とはならない。

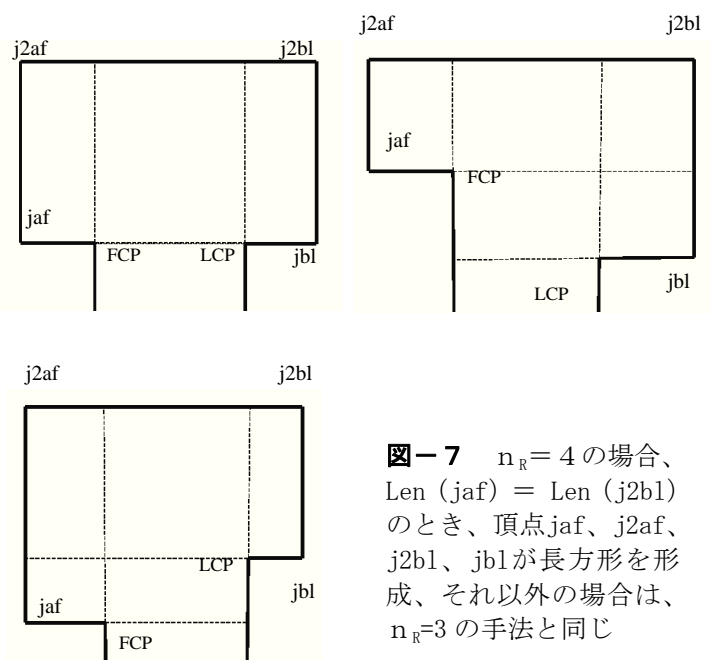


図-7 $n_R = 4$ の場合、Len (jaf) = Len (j2bl) のとき、頂点jaf、j2af、j2bl、jblが長方形を形成、それ以外の場合は、 $n_R=3$ の手法と同じ

図-7の左上図は、 $Len(jaf) = Len(j2b1)$ の場合で、連続する5つの辺、即ち、4個のR頂点、 $j2af$ 、 $j2af$ 、 $jb1$ 、 $jb1$ が長方形を形成する。図-7の右上図と下図に示す場合は、R L表現「LRRRRL」の、「LRRR」と「RRRL」に対して、 $n_r=3$ の場合の分割線を引く手法と同じ手法を用いる。

本システムは、以上の手法で、ポリゴンのR L表現にて、L頂点間のR頂点数を数え、「枝」を検出し、L頂点から分割線の候補を引き、その中で短冊状の長方形を切り取らない分割線を選んで、分割処理し、ポリゴンを正方形に近い長方形の集まりにまで、分割する。そのプロセスを以下の図-8に図示する。そして、分割された長方形の上に自動生成した屋根付き建物の3次元モデルを配置する(図-9に図示する)。

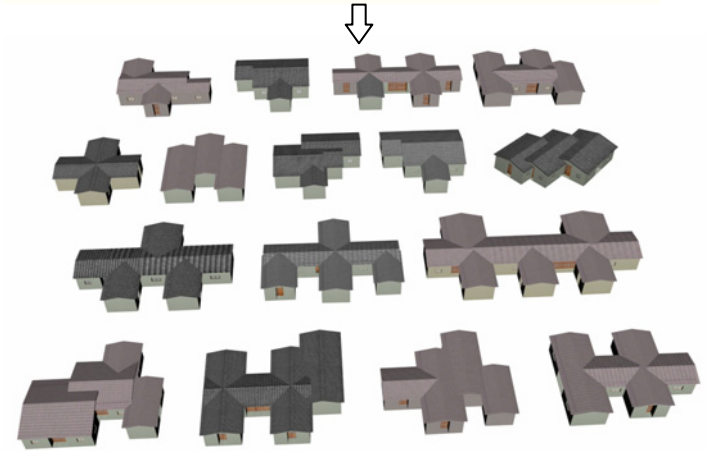
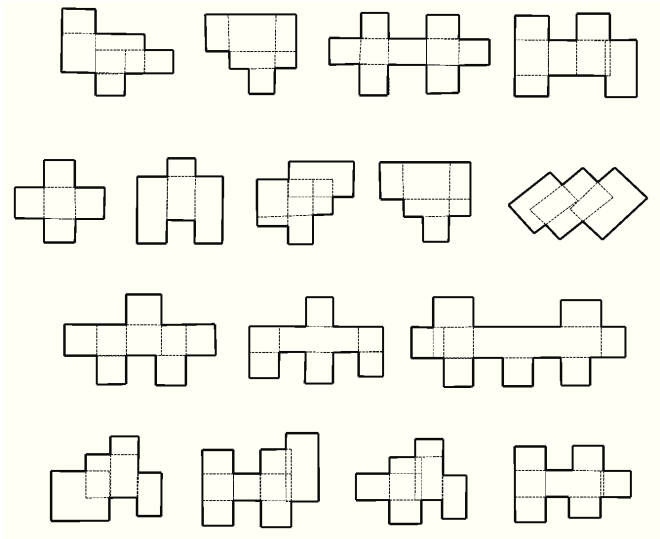
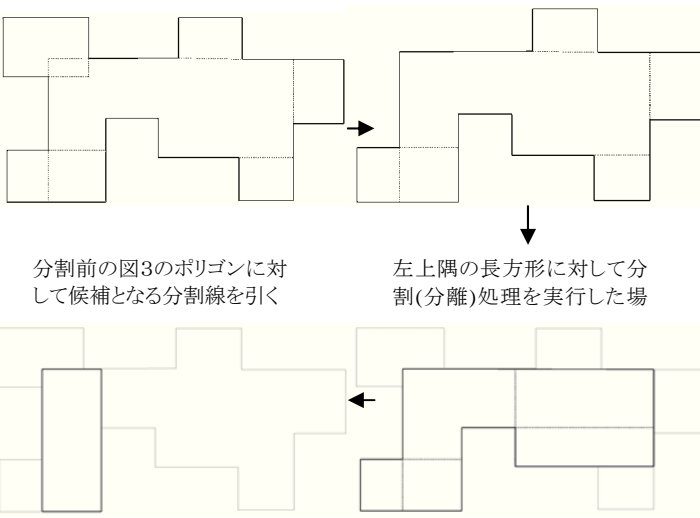


図-10 一般的な形状をした直角ポリゴンに対して分割処理(上図)、分割されたポリゴン上に自動生成した3次元建物モデル配置(下図)

4. 自動生成の流れ

本研究での3次元建物モデルの自動生成のプロセスを図-11に示す。自動生成システムは、GISが蓄積、管理する電子地図上の建物ポリゴンの「図形情報」とポリゴンに関連付けられた「属性情報」に基づいて、3次元建物モデルを自動的に作成する。本システムは、市販の2次元GISソフトと開発した「GISモジュール」と「CGモジュール」から構成される。「GISモジュール」は、建物ポリゴンの基本図形(長方形)への分割、ノイズ辺や不要な頂点のフィルタリング、壁や窓部の形成のための内外境界線生成などの前処理を行う。「CGモジュール」は、前処理された建物の「図形情報」と階数、建物タイプ(屋根無しビルディング、切妻屋根、寄せ棟屋根付き建物などの建物の種別)等の「属性情報」に基づいて、以下の手順で、建物モデルを自動生成する。(1)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を作成する。(2)これらの基本立体のブール演算を行い、屋根や窓などの部品



分割前の図3のポリゴンに対して候補となる分割線を引く
左上隅の長方形に対して分割(分離)処理を実行した場

分割処理は本体ポリゴンの頂点数が4になるまで実行
図-8 図-3のポリゴンに対して候補となる分割線を引き、その中から短冊状の長方形とならない分割線を選択、分割処理実行

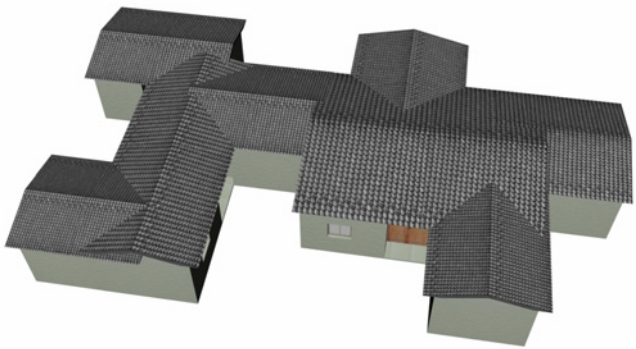


図-9 図-3の建物ポリゴンを分割処理後、分割長方形上に屋根付き建物の3次元モデルを自動生成

一般的な形状の直角ポリゴンに対して、本システムは分割処理を行い、それらの上に自動生成した屋根付き建物の3次元モデルを配置する(図-10に図示)。

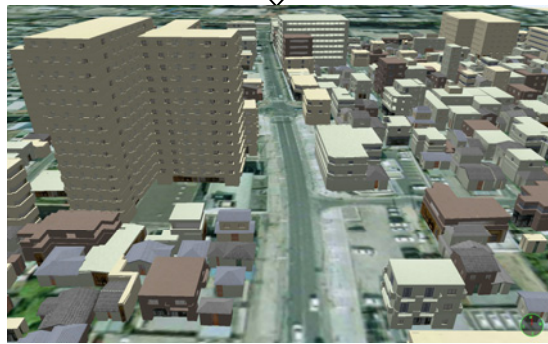
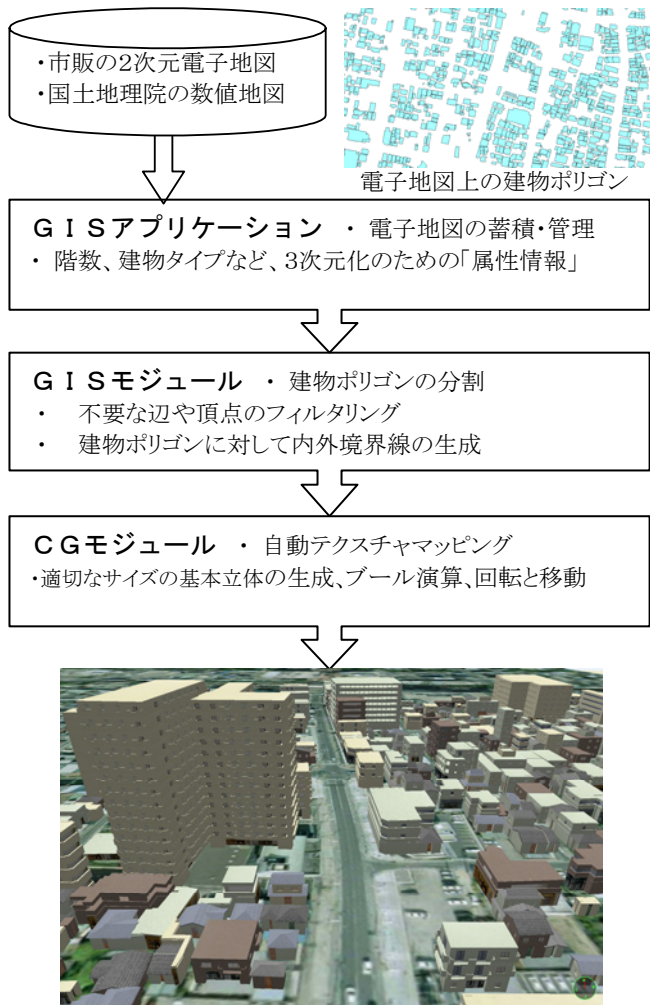


図-11 3次元建物モデルの自動生成のプロセス

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)それらにテキストチャマッピングを行う。

本システムでは、2次元の建物ポリゴンとそれに関連付けられた属性情報から最もあり得る(probableな)3次元建物形状を自動生成する。特に、一般的な屋根付き建物は、階数が少なく、平面図である建物ポリゴンから3次元形状を推定・生成する手法によって、現実に近い建物モデルを効率よく生成することができる。精緻な3次元都市モデルを、3次元CGソフトを使い、時間をかけて製作することは可能であるが、都市計画やまちづくりにおいて利用される「3次元都市モデル」は、看板や窓の形や色、壁の模様や染みといったディテールを必要とせず、容積率や建蔽率、斜線制限、屋根種類などで形状が決まる建物概形モデルが実用的である。労力とモデルの精緻さはトレードオフの関係にあり、不必要なディテールを求めなければ、本システムを用いて、デザイナーが考える案をすばやく製作できる。例えば、手作業により1軒の建物の3次元モデル作成に30分かかるとすると、500軒の建物から成る街の作成には、250時間の手作業が必要

であるが、本システムは、電子地図があれば、それに基づいて、30分前後で、街を自動生成することができる。本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、デザイナーやプランナーなどの専門家が、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(本システムは大手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⁹⁾は、一般的に、大規模で、非常に高価だが、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シンプルで、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。

5. 活用事例とあとがき

本システムを用いて、「都市再生」の案を自動生成した事例を以下に示す。名古屋市名城・柳原地区は、都市再生本部による再生プロジェクト第5次決定によって認定された地区である。名城・柳原地区は、名古屋市北区、中区にまたがり、市役所、県庁、その他、国の出先機関官庁街と名古屋城の隣接地域である。



図-12 名城地区の航空写真(MapCube¹⁰⁾)



図-13 自動生成した再生案となる3次元都市モデル

30年、40年前に建てられた5階建て前後の国家公務員宿舎、市営住宅、民有地について、一体的な立替による複合都市拠点形成にむけた計画策定に着手するとされるところである。図-13は、国家公務員宿舎、市営住宅の戸数、延べ床面積は、現状維持以上を確保するよう容積率を考慮した都市再生案の3次元都市モデルである。

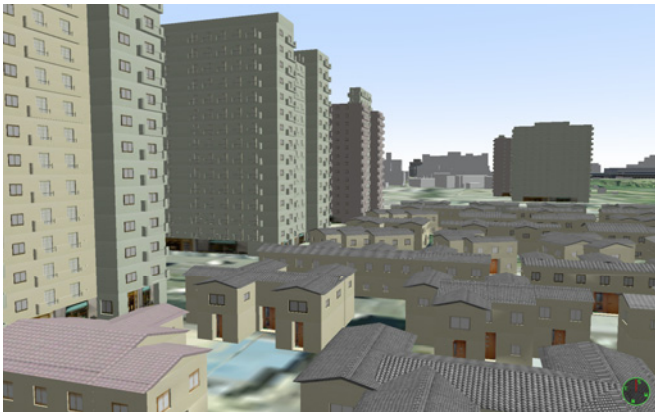
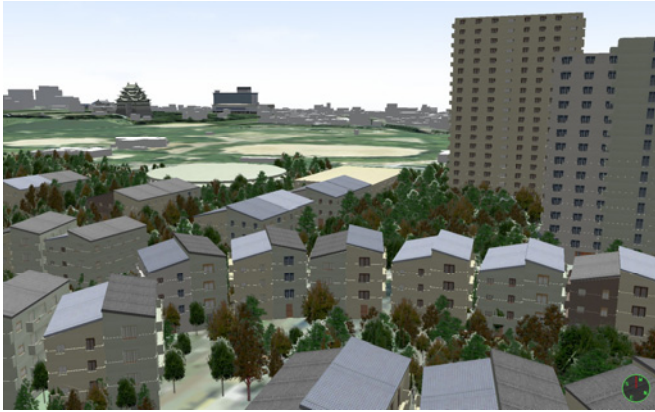


図-14 低い視点から眺めた自動生成した都市再生案

本研究では、GISで蓄積及び管理される電子地図上の建物ポリゴンに基づいて、3次元建物モデルを自動生成するGISとCGの統合化システムを提案した。3次元都市モデルは、まちづくり、防災、景観評価等の学術分野からまちづくり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。しかし、現状では、3次元都市モデルの主要な構成物である建物を3次元モデリングするのに、多大な時間と労力をかけている。そこで、本研究では、直角ポリゴンを分割し、長方形の集まりとし、その上に建物の3次元モデルを配置して、3次元建物モデルを自動生成するアルゴリズムを提案した。分割する際、短冊状の長方形とならないように数ある分割線の中から、長方形の縦横比が1に近くなる分割線を採用して、分割処理を行い正方形に近い四角形の集まりとする手法を示した。

本システムは、このアルゴリズムを用いて、電子地図上の建物ポリゴンを分割処理し、詳細な3次元建物モデルを自動的に作り出す機能を持つ。この機能は国内外の既往の研究には見られない。まちづくりや都市計画において、デザイナーやプランナーなどの専門家が、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、自動的に街の3次元モデルに変換できれば、利用価値は大きいと考えられる。

参考文献

- 1) UDS(Urban Data Solutions); <http://www.u-data.com> より (入手 2004. 3. 15)
- 2) Joseph O'Rourke and Geetika Tewari, Partitioning Orthogonal Polygons into Fat Rectangles in Polynomial Time, Proceedings of the 14th Canadian Conference on Computational Geometry, University of Lethbridge, August, 2002, p. 97-100
- 3) Gruen, A. and et al. (2002) Generation and visualization of 3D-city and facility models using CyberCity Modeler. MapAsia, 8.
- 4) Suveg, I. and Vosselman, G. (2002) Automatic 3D Building Reconstruction. Proceedings of SPIE, 4661, 59-69.
- 5) Fischer, A., Kolbe, T. H., Lang, F. (1997) Integration of 2D and 3D Reasoning for Building Reconstruction using a Generic Hierarchical Model. Workshop on Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps SMATI, 5/97, 1-21
- 6) Gruen, A. and Wang, X. (1998) CC Modeler: A topology generator for 3-D city models. ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 53, 286-295.
- 7) A.Barron, J.Rissanen, and B.Yu, The minimum description length principle in coding and modeling. IEEE Trans. Information Theory, vol. 44 (1998), no. 6, pp. 2743-2760
- 8) Kenichi SUGIHARA and Yoshitugu HAYASHI: GIS-based automatic generation of 3-D building models from building polygons filtered, 地理情報システム学会誌 “GIS-理論と応用” No.2 Vol.12, pp.187-195, 2004/12
- 9) <http://www.ust.ucla.edu/ustweb/ust.html> ; UCLA Urban Simulation System Team
- 10) MAPCUBE は、インクリメント P、キャドセンター、パスコの三社が共同開発した3次元デジタル地図

(2006.5.19受付)