

計画プロセスの合意形成において利活用できる 3次元都市モデルの自動生成

杉原 健一¹・沈 振江²・林 良嗣³

¹正会員 岐阜経済大学教授 経営学部情報メディア学科（〒503-8550 岐阜県大垣市北方町5丁目50番）

E-mail: sugihara@gifu-keizai.ac.jp

²非会員 金沢大学教授 理工研究域 環境デザイン学系（〒920-8667 金沢市小立野2丁目40番40号）

E-mail: shenzhe@t.kanazawa-u.ac.jp

³正会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

E-mail: yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp

コンピュータ・グラフィックス(CG)で形作る建物を主要な構成物とする「3次元都市モデル」は、都市計画、まちづくりの分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。計画プロセスにおいて、合意形成という観点から、住民、地権者、行政、デザイナーで整備案の街の3Dイメージを共有し、整備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。整備案の3Dモデルは、デザイナーが描く地図に基づき、3次元CGソフトを用いて、多大の時間と労力を掛けて作成している。本研究では、GISが蓄積・管理する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を開発した。本システムは、まちづくりにおいて、整備案に対する様々な変更や要望に迅速に対応し、代替案の3Dモデルを素速く自動生成する。

Key Words : 3D urban model, automatic generation, GIS, CG, 3D building model, consensus building

1. はじめに

コンピュータ・グラフィックス（CG）の3次元建物モデルを中心とする「3次元都市モデル」（図－1 右参照）は、都市計画、景観や防災まちづくり等のアカデミックな分野から公共事業の情報公開、「高台への集団移転」等のまちづくりの計画案に対して合意形成を図るための住民参加の場、あるいは、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。特に、社会資本整備において、構想段階から住民参加の機会を確保し、関心の醸成と計画・設計への寄与を促し、整備案の検討プロセスの「透明性」や「公平性」を高めることで、社会的合意の形成に取り組むことが重要である。ここで、整備の構想のステージから住民が参加して、関係者でコミュニケーションを成立させることができないとすると、特定の利害関係者からの不信感・不安・不満が生じ、利害調整の難しさから紛争状況などの問題を生じさせることにもなりかねない。

社会資本整備に関わる社会的な合意形成を円滑に実現するためには、住民参加業務の担当者だけでなく、市民

や関係者がそれぞれの立場から、実践上の課題を踏まえ改善に向けた議論を継続的に行うことが不可欠であるとされる¹⁾。

そこで、計画の構想段階から住民などの関係者に参加してもらい、行政、住民、地権者、デザイナー等の専門家で、整備案の出来上がりのイメージを共有し、整備案を検討していくことができれば、円滑に社会的な合意形成を実現することができる。そのために、「実際に出来る整備事業」に近いであろう「整備案の3次元モデル」が重要となる。例えば、津波対策のための「高台への集団移転の案」を3Dモデル化するには、デザイナーが描く計画案の地図情報に基づき、主に3次元CG作成ソフトを用いて、膨大な手作業にて、街並みの3Dモデルを製作する。例えば、建物の3DモデルをCSG（Constructive Solid Geometry）で作成する場合、次に示す手順に従って、モデリングを行う。（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、三角柱、多角柱などの基本立体（プリミティブ）を作成する。（2）建物本体に窓やドア用に穴を空ける、または、寄棟屋根の台形状の屋根板等の建物部品を形成するために

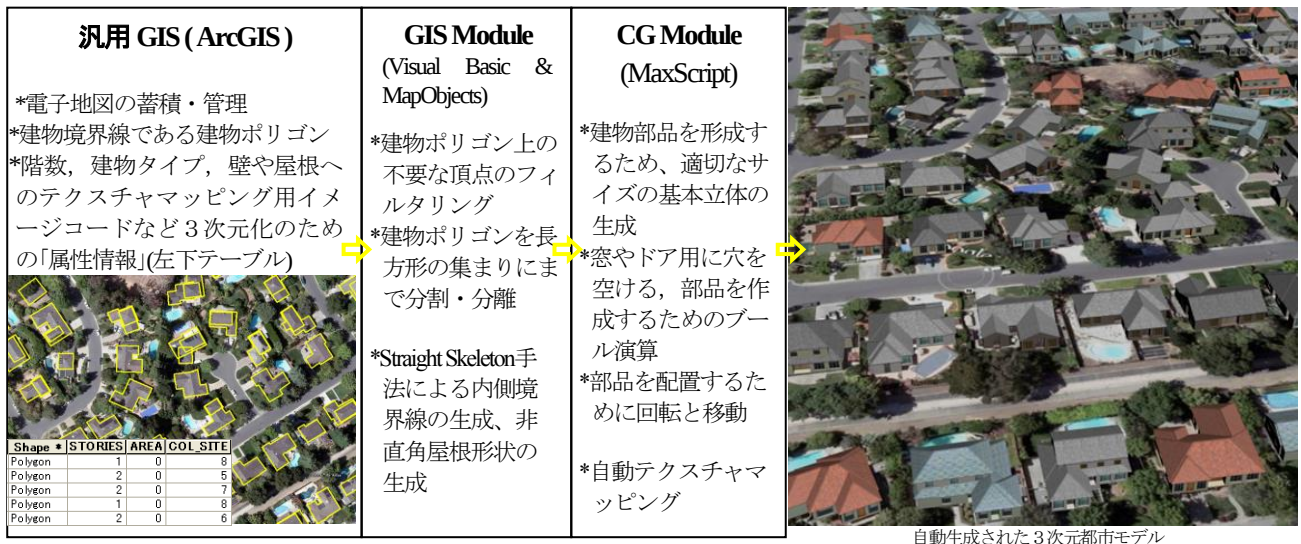


図-1 自動生成システムの構成と3次元都市モデルの自動生成のプロセス

ブール演算を行う。(3) 作成した建物の部品を回転する。(4) 電子地図上の図形情報に基づいて適切な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。

この手作業を省力化し、3次元都市モデルを自動的に作るために、筆者らは、GISとCGを統合化したシステムを提案した^{2) 3) 4)}。通常、図-1左の電子地図上の建物ポリゴン(建物境界線)が示すように、建物ポリゴンは、その頂角が直角の直角ポリゴン(orthogonal polygon)である。筆者らのこれまでの研究成果で、プログラムで建物の3Dモデルを、自動的に作成する自動生成システムは、電子地図上の建物ポリゴンが直角ポリゴンである場合、それらを長方形の集まりにまで分割・分離して、これら長方形の上に、Box形状の建物本体や上から見て長方形の屋根を配置して、3Dモデリングを行った。しかし、全ての建物ポリゴンが直角ポリゴンとは限らない。本研究では、非直角建物ポリゴン(non-orthogonal)に対して、Straight Skeleton手法を用いて、自動生成する手法を提案する。

2. 既往の研究

「3次元都市モデル」は、都市計画、景観や防災まちづくり等のアカデミックな分野から公共事業の情報公開等をはじめとして、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、「現状ある都市」の3次元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次元都市モデルは、ステレオ画像の航空写真や衛星写真から写真測量(photogrammetry)、コンピュータビジョン(CV)やリモートセンシングの技術を用いて、建物をふくむ地物の3次元形状を復元し、3次元都市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、地物のステレオ画像の航空写真等からCVのソフ

トウェアで地物の3次元形状を復元できる場合もあるが、地物の複雑さや多様性、写真撮影できないところがあること(オクルージョン)、詳しくサンプリングできないところがあること、CV等のソフトウェアの能力不足等で、実用に耐えられるレベルでの完全自動復元は達成されていない。

Guen と Wang⁵⁾ 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、それが何であるかの認識と写真中で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次元モデルを構築する。

Suveg と Vosselman⁶⁾ 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) 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。

Saeedi⁷⁾ らは、単眼の(monocular)衛星画像から、自動的に屋根面の形状を抽出することを試みた。衛星画像のセグメント化(共通する色合いに応じて塊にする)を行い、セグメントの境界線は、衛星画像より抽出された線

セグメントにあわせる。これら境界線は屋根面の四角形の雛形となり、当てはまり点(probability score)が線セグメントと画像のイメージ勾配によって算出され、忠実度の目安としている。

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。これらリモートセンシング技術などによる生成される「現状ある都市」の3次元モデルは、窓や玄関等の建物の詳細を無視した概形モデルの生成に集中しすぎて、現状ある建物とはかけ離れていると評される⁸⁾。

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、まちづくりの様々な案を提示するとき、ドア、ベランダといった建物の詳細を有する現状ありうる形状の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。

そこで、建物の詳細を有する現状ありうる形状の3次元建物モデルを、製作ルールで自動生成する手続き型モデリング(Procedural modeling)が研究されている。Müllerら⁹⁾は、この手続き型モデリングにおいて、GISが蓄積・管理する電子地図から「建物境界線」を取り込んで、彼らの形状言語(shape vocabulary)において、基本形(basic shapes)に分類する。もし、それができない形状であれば、建物ポリゴンの押し出し処理(extruded footprint)とStraight Skeleton手法¹⁰⁾を用いて一般形状の屋根を生成するとしている。しかし、彼らの論文において、電子地図上の建物ポリゴンへのStraight Skeletonの適用手法や適用結果などの図や記述はなく、手法は明らかにされていない。また、Straight Skeleton手法による生成される屋根は、Straight Skeletonの縮小処理において、短い辺は消失するので、長い辺が残ることになり、屋根頂線は、建物境界線の「長辺に平行な」頂線を持つ屋根しか生成できない。屋根形態は多種多様にわたり、「長辺に垂直な」頂線となる屋根も存在する。従って、建物ポリゴンを長方形の集まりまで分解・分離して、長方形の長辺に平行な頂線とするか、垂直な頂線とするかをシステムで選択できれば、多種多様な屋根を自動生成できる。

近年、Procedural modelingと共に、画像ベース・モデリング(IBM: image-based modeling)を用いて、インタラクティブにすばやく精緻な3次元建物モデルを生成する手法が開発された。Bekins¹¹⁾らは、建物の実写から、建物の特徴を抽出し、それらを分類、分割して、単一の特徴領域とし、この「単一の特徴」を使って、新しいモデルを、元のモデルの「特徴」で作りに上げていく。建物の形態で見つかった「冗長性」は、元の建物の形態を記述する「手続き」を引き出し、次に、それは新しい建物の形態を作り

出すために使われる。この冗長性はオクルージョンが起こっている領域やサンプリングが不十分であるエリアを埋めるためにも使用される。

Aliagaら¹²⁾は、建物の形態を記述する「手続き」群をまとめあげ、それらを用いて、素早く、別の形態の新たな3次元建物モデルを作成するか、そのモデルを修正するという技術を確立した。

Vanegaら¹³⁾は、建物の形状の変化を決めるルールにおいて、建物の形状を決める3方向の軸は直交していると仮定するManhattan-world (MW) 仮定に基づくとする。そして、自動的に都市の3次元モデルを構築するために、航空写真や地上から撮影した写真と共に、3次元レーザースキャンやLIDAR (Light Detection and Ranging)を用いる際のサンプリング不足や建物の面情報の欠落というような不具合を、建物の形状はManhattan-world 仮定に基づくとする、これらの不具合を解消できるとしている。

これらのインタラクティブな手法で、精緻なファサードを持つ3次元建物モデルを作り出すことができるが、合意形成で利活用される3次元都市モデルは、何百、何千の建物を含む場合が多く、このインタラクティブな手法での建物生成は、長時間の手作業がかかることになる。これら手法の限界は、ユーザー側の膨大な時間と労力が必要であることだとされる¹⁴⁾。

本研究では、まちづくりの整備案の電子地図を、インタラクティブな操作なしで、素早く3次元都市モデルに変換する自動生成システムの開発を目指した。その3次元都市モデルには、住民や行政、地権者らが「将来の街並み」として認識できる何百もの戸数の3次元建物モデルがある。

3. 本システムの構成と自動生成のプロセス

本研究における自動生成のシステム構成と3次元都市モデルの自動生成のプロセスを図-1に示す。3次元都市モデル(図-1右)の情報源は、衛星画像に基づいて描いた建物ポリゴンなどの電子地図である。電子地図は、汎用GIS(ArcGISなど)によって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、GISのソフト部品(MapObjects)を用いてプログラム開発した「GISモジュール」にて、以下の「前処理」を行う。

- (1) 直角ポリゴンを「長方形の集まり」にまで、分割・分離する。
- (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。
- (4) 非直角建物ポリゴンに対して、非直角屋根を生成するためStraight Skeletonを生成する。

前処理したデータを、3次元CGソフト(3ds Max)をコントロールする「CGモジュール」(MaxScriptでプログラ

ム開発)が取込み、以下の処理を自動的に行い、3次元建物モデルを自動生成する。

(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、三角柱、多角柱などの基本立体(プリミティブ)を作成する。(2) 建物本体に窓やドア用に穴を空ける、または、寄棟屋根の台形状の屋根板等の建物部品を形成するためにブール演算を行う。(3) 作成した建物の部品を回転する。(4) 電子地図上の図形情報に基づいて適切な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。

このGISモジュールとCGモジュールでの処理は、本研究で開発したプログラムによって、全て自動的に処理される。例えば、図-1右に示すような建物の3Dモデルが約300軒存在する「街の3Dモデル」を自動生成する場合、元になる建物ポリゴンの形状によるが、コンピュータ(CPU:インテル Core2 Duo 2GHz)を用いて、GISモジュールでの、処理時間は約30秒、CGモジュールでの処理時間は、3分から5分の間であった。

4. 非直角建物ポリゴンに基づく自動生成

(1) Straight Skeleton手法の概要

Aichholzerら¹⁰⁾によって提案されたStraight Skeletonは、図-2(e)に示すように、一般的な形状のSimpleポリゴン

において、ポリゴンの各辺がポリゴン内部方向に、平行に一定速度で縮小するとき、各頂点の軌跡を辿ることで得られる直線状の骨格(Straight Skeleton)として定義された。このStraight Skeletonは、図らずも、一般的な形状の建物ポリゴンに対して、図-2(f)に示すように、一般的な形状の屋根を生成する手法として、適用できることが分かった。

筆者らが開発したシステムは、電子地図上の直角建物ポリゴンに対して、それを長方形の集まりに分割・分離して、3次元建物モデルを自動生成した。このStraight Skeleton手法を用いることによって、建物ポリゴンが、直角ポリゴンか非直角ポリゴンかを問わず、屋根付き3次元建物モデルを自動生成することができる。但し、Aichholzerら¹⁰⁾によるStraight Skeleton手法では述べられていない、主に直角ポリゴンの場合、想定しなければならない「同時発生イベント」、及び、縮小プロセスの最後のステージにおいて、考えなければならない「収束の形」があり、本研究では、これらのイベント及び収束の形を提案する。そして、あらゆる建物ポリゴンに対して一般的な屋根付き3Dモデルを自動生成するシステムを提案する。

Aichholzerらによると、図-2に示すようにStraight Skeletonは、一定速度でのポリゴンの縮小プロセスにおいて各頂点が辿る頂角の2等分線(angular bisector)の集まりとして形成される。この縮小プロセスは、次のイベントが

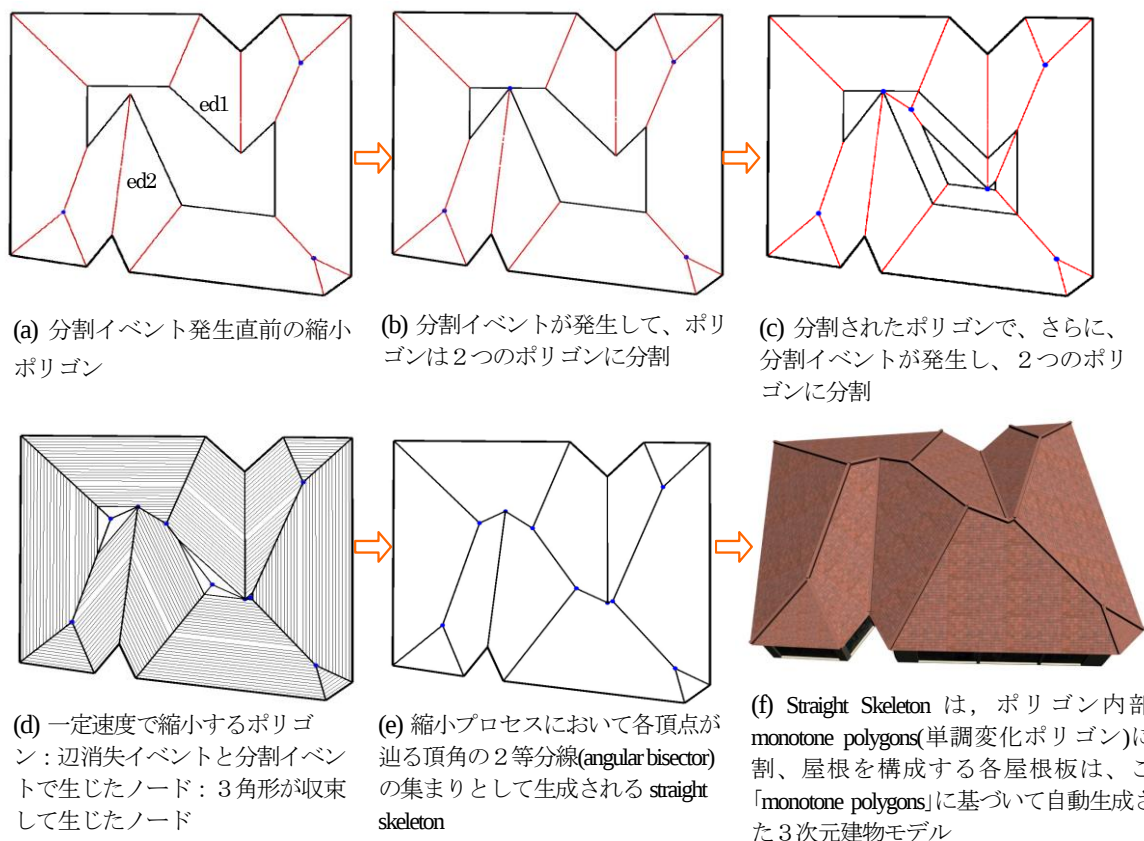


図-2 ポリゴンの縮小プロセス、その結果、生成される straight skeleton、自動生成された3次元建物モデル

生じるまで続く。

- (1) **辺消失イベント** (Edgeイベント) : 辺が縮小して消失する。消失辺の両側の辺が、以降は接することになる。
- (2) **分割イベント** (Splitイベント) : **Reflex**頂点 (内角が180度以上の頂点) が辺に交差して、ポリゴンを分割する。分割されて2本になった辺と**Reflex**頂点に付随する辺が、以降は接するという新たな隣接関係が生じる。

図-2(a)は、縮小処理が進み、**Reflex**頂点からの2等分線が伸びて、分割イベントが発生する直前の縮小ポリゴンを示す。図-2(b)では、2等分線と対向する辺が交差して、分割イベントが発生。図-2(c)では、分割されたポリゴンで、さらに、分割イベントが発生し、2つのポリゴンに分割。図-2(d)では、**Straight Skeleton**処理による等速度で縮小するポリゴン群、**Edge**イベントと**Split**イベントによるノード、3角形が1点に収束することによるノードを表示している。図-2(e)は、縮小プロセスにおいて各頂点が辿る頂角の2等分線の集まりとして生成される**straight skeleton**を表示している。**Straight Skeleton**は、 n 頂点のポリゴンのその内部を n 個の「**monotone polygons**(単調変化ポリゴン)」に分割するという優れた性質を持つ。図2(f)は、自動生成された3次元建物モデルで、屋根を構成する各屋根板はこの「**monotone polygons**」に基づいて生成した。

(2) Straight Skeleton手法の詳細

縮小プロセスにおいて、ポリゴンの全ての辺の長さが短くなるわけではなく、図-2(a)の**Reflex**頂点を端点にもつ辺 **ed1**と**ed2**のように、縮小処理で、辺長が長くなる辺も存在する。辺の両端の頂点の内角の和が360度以上であれば、その辺の長さは縮小処理で長くなり、そうでなければ、短くなり、分割イベントが起こらないかぎり、

「辺消失イベント」でノードに収束する。

縮小処理を一意に決めるパラメータは、縮小処理前後の辺間の距離:「縮小距離($=d_{s_{tri}}$)」である。分割イベントが生じないとして、 i 番目の辺に対して、「辺消失イベント」が生じる距離($=e_{d_{s_{tri}}}$)は以下の式で与えられる。

$$e_{d_{s_{tri}}} = \frac{L_i}{(\cot(0.5 * \theta_i) + \cot(0.5 * \theta_{i+1}))} \quad (1)$$

ここで、 L_i は辺長、 θ_i 、 θ_{i+1} は辺両端の内角を表す。但し、辺両端の頂点の内角を2等分する線がポリゴン内部で交わるために、 $0.5 * \theta_i + 0.5 * \theta_{i+1} < 180^\circ$ となる必要がある。この条件を満たす全ての辺について、 $d_{s_{tri}}$ を式(1)で求める。分割イベントが生じなければ、これらの $d_{s_{tri}}$ の中で最小となる値が、最初に辺消失イベントが生じる縮小距離となり、その辺が最初に消失する辺となる。本研究では、「分割イベント」は、縮小処理において最初に「辺消失イベント」が生じるまでの「 $e_{d_{s_{tri}}}$ 」の間において、分割イベントが生じるかどうかを調べ、分割イベントが生じた場合、その結果生じるノード(分割ノード)の位置を求め、ポリゴン分割することで分割イベント処理を行うこととする。

屋根板となる**monotone**ポリゴンの形成プロセス、ノード位置の求め方を図-3に示す。図-3(a)と(b)では、縮小処理が進み、**Reflex**頂点からの2等分線が伸びて、分割イベントが発生する前後の縮小ポリゴン、2等分線と対向する辺が交差して、分割イベントが発生した様子を示す。図-3(c)では、**monotone**ポリゴンがどのように形成されるかを示す。縮小プロセスが始まると、各辺は、番号付けされた元の辺 (**original edge**: **o_ed_i**) からポリゴン内側へ、長さを変えてスワイプ(移動)する。ノードは、辺消失イベントまたは分割イベントが起こって生じる。

例えば、図-3(c)にて、ノードである **Node1** は「辺消失

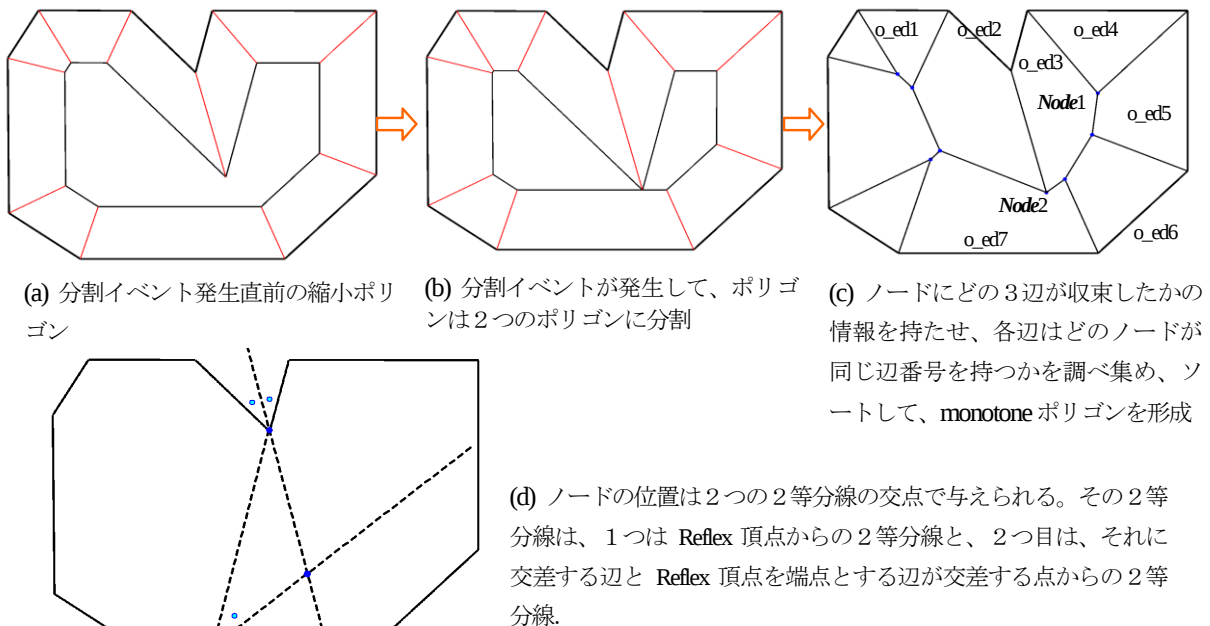


図-3 各 **monotone** ポリゴンの形成プロセス、ノード位置の求め方

イベント」で生じ、元の辺である o_ed3 から o_ed5 まだがポリゴン内側をスイープし、その収束点である。システムは、*Node1* に対して、 o_ed3 から o_ed5 ままで、「ノードに収束する元辺 (original edge)」として、それらの辺の番号を関連付ける。一方、*Node2* は「分割イベント」の結果、生じ、2 辺 o_ed2 と o_ed3 の間の Reflex 頂点からの 2 等分線とそれに交差する辺 (o_ed7) の交点である。同様に、システムは *Node2* に対して、Reflex 頂点を端点とする 2 辺 (o_ed2 と o_ed3) と交差する辺 (o_ed7) を、「ノードを形成する元辺」として関連付ける。このようにノードは、少なくとも 3 つの元辺がスイープし、イベントが発生・収束して、形成される。システムは、各ノードについて、どの元辺である 3 辺が収束したかの情報を持たせる必要がある。

そして、monotone ポリゴンを形成するプロセスでは、元辺を順に辿り、各ノードに関連付けられている少なくとも 3 つの元辺の番号を調べ、自分と同じ番号であれば、その元辺に対する monotone ポリゴンを構成するノードとする。このように、元辺を順番に辿って、元辺の番号と同じ番号を持つノードを調べ集める。例えば、図-3(c) で示すように、元辺 o_ed4 は、その同じ辺番号をもつノードはたった 1 つのみ (*Node1*) だが、元辺 o_ed3 は、その同じ辺番号をもつノードは 4 つ (*Node1* と *Node2* も含む) ある。

次に、元辺をベクトルとみなし、また、元辺の起点から、集めた各ノードへ線分もベクトル (ノードベクトル)

とみなし、ノードベクトルの元辺ベクトルへの射影を求め、その値についてソートし、順番に並べ、monotone ポリゴンを構成するノード群とする。それらノードと元辺の頂点は、すべて、同一平面上にあり、屋根板を形成することになる。

(3) 本研究での提案手法

分割イベントでの、ノードの位置は、図-3(d) で示すように、2 つの 2 等分線の交点で与えられる。その 2 等分線は、1 つは Reflex 頂点からの 2 等分線と、2 つ目は、それに交差する辺と Reflex 頂点を端点とする辺が交差する点からの 2 等分線となる。

本研究では、縮小処理において、前述の 2 つのイベントの他に、第 3 のイベントが生じることを提案する。この第 3 イベントは、図-4 上で示すように Reflex 頂点からの頂角 2 等分線が他の辺と交差して分割イベントが起こるが、分割されたポリゴンで、同時に辺消失イベントが生じ、消失してしまうイベントである。この「第 3 のイベント (辺消失イベント&分割の同時イベント)」が起こる様子を図-4 に示す。これらいずれかのイベントが生じ、ポリゴンはトポロジ的に変化し、ポリゴンは、個数はそのまま 1 つか複数のポリゴンに分割される。分割されたポリゴンが面積を持つかぎり、縮小処理は続き、その頂点数を減らしていき、2 点か 1 点のノードに縮小、収束される。全てのポリゴンが 2 点か 1 点のノードに縮小、収束されれば、イベント処理は終了する。この段階

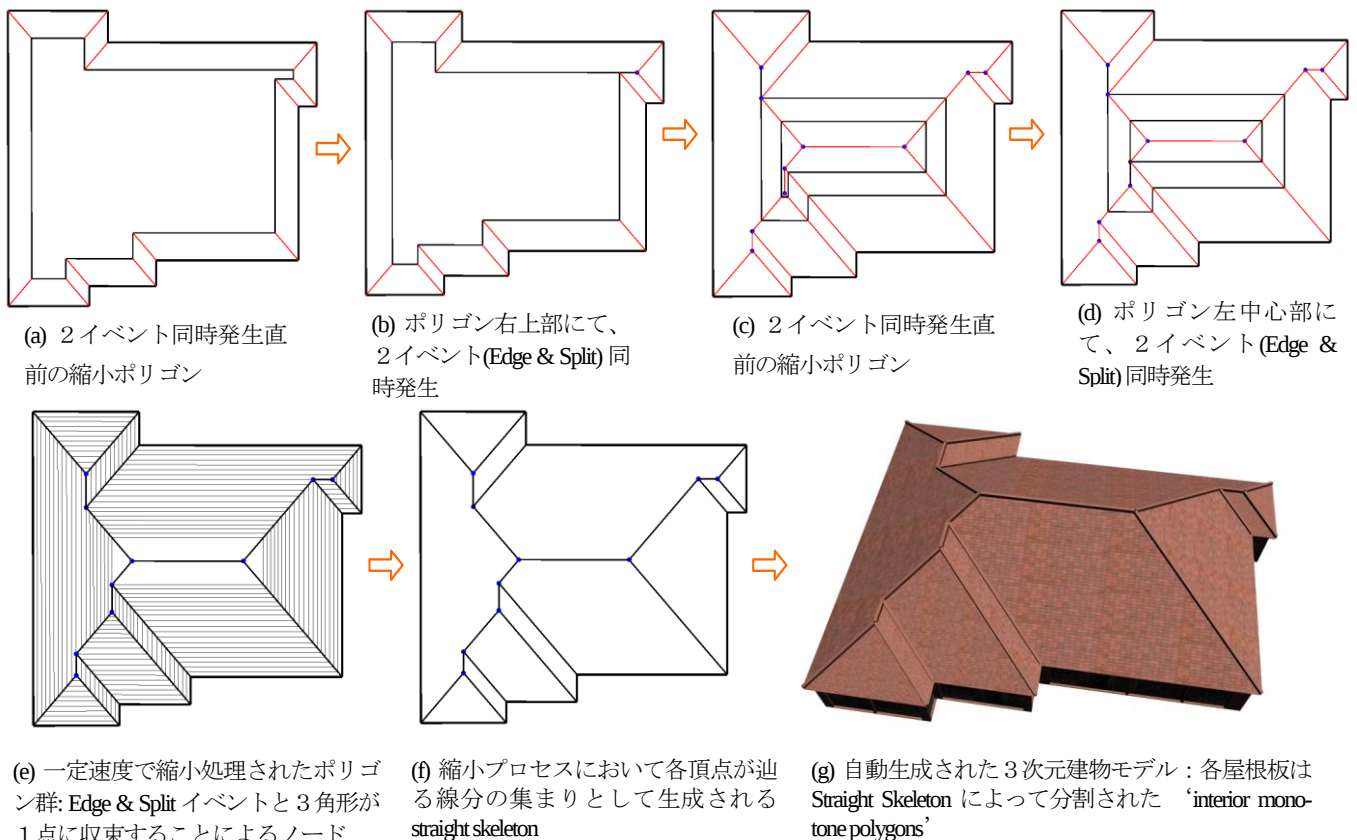


図-4 直角ポリゴンの縮小プロセスと 2 つのイベント同時発生、自動生成された 3 D モデル

で、本研究では、図-4 (e)の中心部で示すように、2点、即ち、線分に収束する場合を提案する。これは、縮小プロセスにおいて、4角形が、その向かい合う辺の $e_{d_{stri}}$ が、そのポリゴンにおいて最小で且つ等しい場合に「収束線分(a line of convergence)」に収束するとする。

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。「都市再生プロジェクト」では、都市内の貴重な土地である国有地を起爆剤として活用し、総合的な都市再生を戦略的に進める。このため、次の事業に早急に取り組むとともに、地方公共団体と連携して、民間の資金や企画力を活用しつつ、都市内の大規模な未利用国有地の有効活用を積極的に推進し、都市構造の変革につながる都市拠点形成を実現するとある。名古屋市の名城・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。40年、50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-5、図-6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の整備案の地図に基づいて自動生成した3次元都市モデルである。

整備案(その1)は、都市計画のデザイナーによって提案されたもので、敷地内の南北で高度利用し、容積を確保し、中央部で低層化、都市施設、及び、緑化を進めようという案である。整備案(その2)は、別のデザイナーによって提案されたもので、広大な中庭の緑を共有するテラスハウス群となっており、建物高層部で名古屋城を眺望できるように名古屋城に近い建物は低層で、遠ざかるにつれて、高層化するように建物の階数を決めた案である。図-6の3次元都市モデルで、緑の中庭に接する

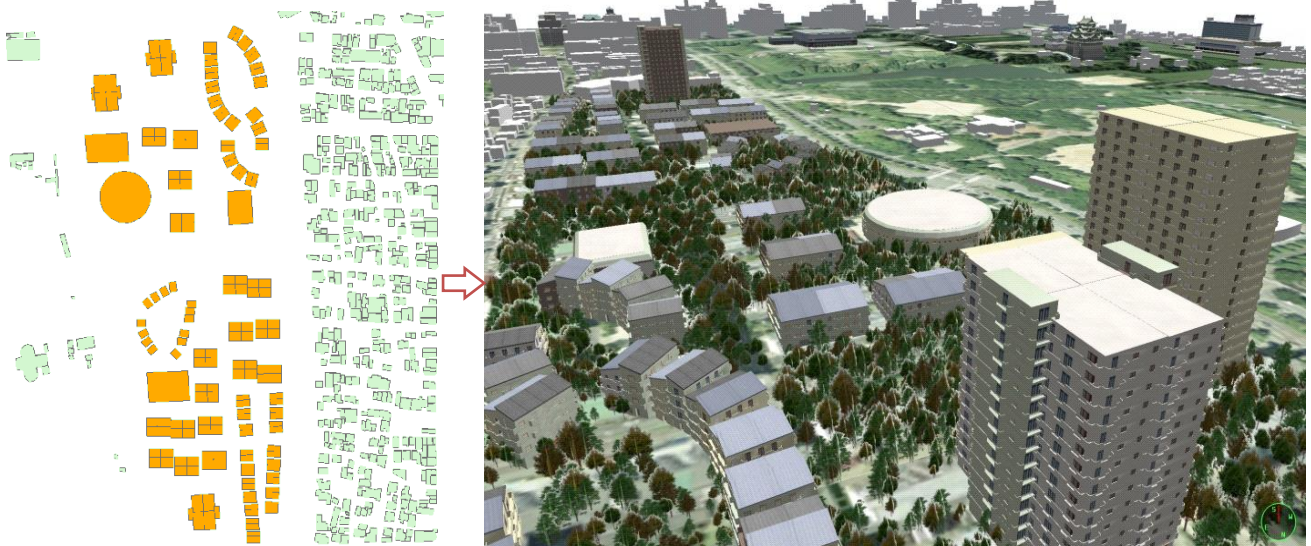


図-5 整備案(その1)に基づいて自動生成された3次元都市モデル(南北で高度利用、中央部で低層化)

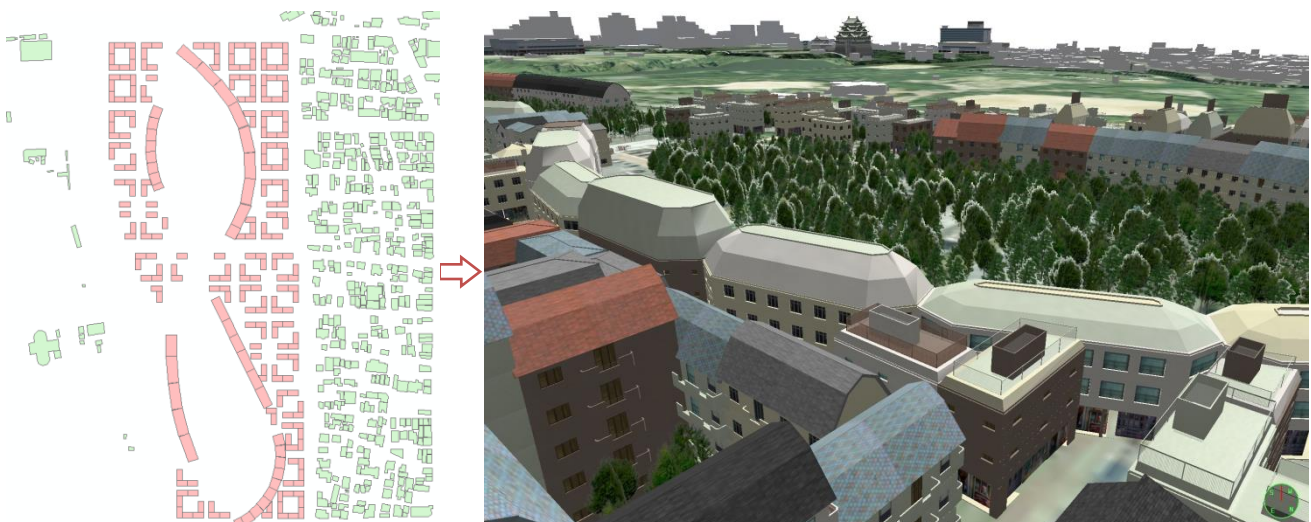


図-6 整備案(その2)に基づいて自動生成された3次元都市モデル(名古屋城を眺望できる建物を増やす案)

手前側の建物群の屋根は, straight skeleton 手法で生成した二重勾配の屋根である。

本研究では, GISで蓄積・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, 一般的形状の建物境界線に対して, Straight Skeleton 手法を用いて, その上に屋根付き3次元建物モデルを自動生成する手法を提案した。従来のStraight Skeleton 手法では考えられなかった「2つのイベントの同時発生」のケース, 縮小プロセスでの収束の形で「収束線分(a line of convergence)」があることの提案を行った。このような手法で建物の3Dモデルを自動生成する事例は他には見られない。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所: 社会資本整備における合意形成円滑化のための手引き ～紛争アセスメント及びメディエーション～ 住民参加に関わる紛争解決のあり方に関する検討会 平成20年3月
- 2) 杉原健一, 林良嗣: “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”, 土木学会情報利用技術委員会 2006年度土木情報利用技術論文集 査読付き論文, Vol.15, pp.67-74, 2006.10.
- 3) 杉原健一, 林良嗣: “様々な形態の屋根付き3次元建物モデルの自動生成”, 土木学会 情報利用技術委員会 2008年度土木情報利用技術論文集 査読付き論文, Vol.17, pp.153-160, 2008.10.
- 4) Sugihara, K. and Kikata, J. 2012. Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, Journal of Computing in Civil Engineer-
- ing.doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000192.
- 5) Gruen, A., Wang, X.: ‘CC-Modeler: A topology generator for 3-D city models’, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, Vol.53, No.5, pp.286-295 (1998).
- 6) Suveg, I., and Vosselman, G.: ‘Automatic 3D Building Reconstruction’, Proceedings of SPIE, 4661, 59-69 (2002)
- 7) Parvaneh Saeedi and Harold Zwick: Automatic building detection in aerial and satellite images, *International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision - ICARCV*, pp. 623-629, 2008, DOI: 10.1109/ICARCV.2008.4795590
- 8) Zlatanova, S., and Heuvel Van Den, F.A. (2002). “Knowledge-based automatic 3D line extraction from close range images”, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34, 233 – 238.
- 9) Müller, P., Wonka, P., Haegler, S., Ulmer, A., and Van Gool, L.: ‘Procedural modeling of buildings’, *ACM Transactions on Graphics*, 25, 3, 614–623 (2006)
- 10) Aichholzer, O., Aurenhammer, F., Albers, D., and Gärtner, B.: ‘A novel type of skeleton for polygons’, *Journal of Universal Computer Science*, 1 (12): 752–761 (1995).
- 11) Bekins R. Daniel, and Aliaga G. Daniel (2005). “Build-by-number: rearranging the real world to visualize novel architectural spaces”, *Visualization*, 2005. VIS 05. IEEE, 143 – 150.
- 12) Aliaga G. Daniel, Rosen A. Paul, and Bekins R. Daniel (2007). “Style Grammars for interactive Visualization of Architecture”, *Visualization and Computer Graphics*, IEEE Transactions on Volume:13, 786 – 797
- 13) Vanegas A. Carlos, Aliaga G. Daniel, and Beneš Bedřich (2010). “Building reconstruction using Manhattan-world grammars”, *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2010 IEEE Conference on: 358 – 365
- 14) Nianjuan, Jiang, Ping, Tan, and Loong-Fah, Cheong (2009). “Symmetric architecture modeling with a single image”, *ACM Transactions on Graphics - TOG*, vol. 28, no. 5

(2013.???.? 受付)

Automatic Generation of 3-D Urban Models for Consensus Building in Planning Process

Kenichi SUGIHARA, Zhen-jiang SHEN and Yoshitugu HAYASHI

3D urban models are important in several fields, such as urban planning and landscape evaluation. However, enormous time and labor has to be consumed to create these 3D models, using a 3D modeling software such as 3ds Max or SketchUp. In order to automate laborious steps, a GIS and CG integrated system is proposed for automatically generating 3D building models, based on building polygons (building footprints) on digital maps. Digital maps shows most building polygons' edges meet at right angles (orthogonal polygon). In the digital map, however, not all building polygons are orthogonal. In either orthogonal or non-orthogonal polygons, the new system is proposed for automatically generating 3D building models with general shaped roofs by straight skeleton computation. In this paper, the methodology for shrinking a polygon and forming a straight skeleton are clarified and, the new methodology is proposed for constructing roof models by assuming ‘the third event’ and, at the end of the shrinking process, the shrinking polygon is converged to ‘a line of convergence’. In the application chapter, the examples of a 3D urban model automatically generated by the integrated system for urban planning proposal are shown.