

窓設置可能な壁を明確化する建物ポリゴン分割及び整形による3次元建物モデルの自動生成

Automatic Generation of 3D Building Models by Polygon Partitioning and Rectification for Clarifying Window Available Wall

○杉原 健一*¹, 沈 振江*², 村瀬 孝宏*³
 Kenichi Sugihara*¹, Zhenjiang Shen*² and Takahiro Murase*³

*1 岐阜協立大学 情報メディア学科 教授 博士(工学)

Professor, Gifu Kyoritsu University, Information Media, Dr. Eng.

*2 金沢大学 理工研究域 環境デザイン学系 教授 博士(工学)

Professor, Kanazawa University, Faculty of Geosciences and civil Engineering, Ph.D.

*3 中京学院大学 教授

Professor, ChukyoGakuin University.

キーワード: 自動生成; 3次元建物モデル; ポリゴン分割; 建物境界線; 3次元CG

Keywords: Automatic generation; 3D building mode; polygon partition; building footprint; 3DCG.

1. はじめに

まちづくりや都市計画のために「建物の3Dモデル群」(図1右)を効率よく作ることが求められている。例えば、津波対策のために「住居の高台移転の案」を検討するにあたり、最終的な街並みイメージや自然景観との調和など、トータルな市街地像を検討することが望ましいとされる。そこで、専門家が描く整備案の「建物境界線や平面図」に基づき、3次元CGやCADを用いて、膨大な手作業にて、整備案となる建物の3Dモデル群を製作する。

筆者らのこれまでの研究で、電子地図上の頂角がほぼ直角の建物境界線(直角建物ポリゴン)を四角形の集まりまで分割し、四角形の集まりを「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し、各長方形の上にBox形状の建物本体を配置して3次元建物モデルを自動生成した。

本手法では、建物ポリゴン(建物境界線)を四角形の集まりまで分割するが、その分割過程で、分割された四角

形(分割四角形)の傾きを計算し、外部のどの四角形のどの辺に、どのように接していたかの「隣接情報」を「分割四角形」に保存し、この「隣接情報」に基づいて、互いに直交する長方形の集まりとなる建物ポリゴンを再構築する。この「傾きや隣接情報の取得」は、分割四角形の頂点の「ラベリング(番号付け)」を通して行われる。本研究では、分割四角形のどの辺に壁を作り、あるいは、「壁のどこからどこまで窓やドアが設置できるか(WDA壁: Windows and Doors Available wall)」を明らかにする手法を提案する。「WDA壁」が不明の場合、分割四角形を組み合わせる再構築時、窓と他の四角形上のBox状の建物部と「不要な交差」が生じる。「不要な交差」はMüllerら²⁾も指摘する不具合である。こうした不具合をなくすために、分割四角形が隣接四角形にどう接するかを把握し、WDA壁を明確化し、そこに窓やドア等を配置すれば、矛盾しない形状の建物モデルを自動生成できる。

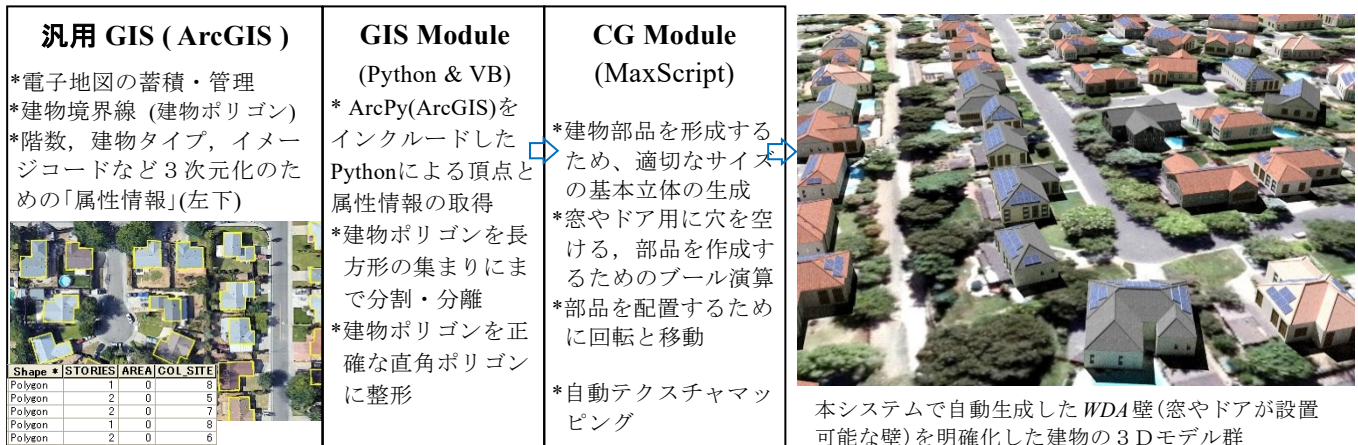


図1 3次元建物モデルの自動生成システムの構成と自動生成のプロセス

2. 既往の研究

建物の3Dモデルを作るとき、大きく2つの構築する立場があると考えられる。1つ目は、まだ、存在しない、これから作る建物と街並みのための「まちづくりの合意形成」やBIM (Building Information Modeling)用に建物の3Dモデルを作る立場、2つ目は、リモートセンシングやコンピュータビジョンの技術を用いて、今ある建物をコンピュータ内で作る「仮想空間に写像する立場」である。1つ目の立場は、建築設計において、平面図、立面図などに基づいて、CGやCADソフトで建物の3Dモデルを作り、それをパース図や下絵として利用し、まだ存在しない建物を作る立場である。昨今では、最初にBIMソフトで3Dモデルを作り、それを写像する形で「互いに矛盾のない多数の平面図、断面図等の設計図書」を生成するBIMが大規模建物設計を中心に活用されている。

この3Dモデル構築には多大な手作業が必要とされるので、これを省力化するために、製作ルールのプログラミングで自動生成する「手続き型モデリング(Procedural modeling)」が研究されている。Müllerら²⁾は、建物境界線である建物ポリゴンの押し出し処理とAichholzerら³⁾によるstraight skeleton手法を用いて一般形状の屋根を生成する。ここで、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、即ち、「寄せ棟屋根」しか生成できない。

本研究で提案する自動生成システムでは、電子地図上の建物ポリゴンを「四角形の集まり」まで分割・分離して、「互いに直交する長方形の集まり」まで「整形」し、各長方形の上に個別に建物を作成する。屋根形状は多種多様であり、「長方形の長辺に垂直な頂線」を有する屋根も存在

する。本システムでは、分割・分離した長方形の長辺に平行な屋根頂線とするか、垂直な頂線とするかをポリゴンに関連付ける属性情報(図1左端下)で決め、分割長方形ごとに個別に多種多様な屋根形状を生成できる。

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建物の3Dモデルの自動生成のプロセスを図1、また、建物ポリゴンの分割、ポリゴン整形、枝屋根延長しての3Dモデル自動生成の詳細なプロセスを図2に示す。街の3Dモデルの情報源は、図1左に示すような航空画像に基づいて、建物周辺の木々などの影を取り除いて描いた建物境界線群が載った電子地図である。電子地図は、市販のGIS (ArcGIS)によって、蓄積・管理される。電子地図上の建物ポリゴンは、本研究で開発したArcPy(ArcGIS)をインクルードしたPythonプログラムにより、ポリゴン頂点と属性情報などを取得する。この建物ポリゴンの頂点を時計回りに辿ると、ポリゴンの辺は「直角に右に曲がるか(R-turn)」、「直角に左に曲がるか(L-turn)」のどちらかである。直角ポリゴンは、この辺の曲がる向き(RかL)で表現できる。これを「RL表現」としたり。

図3に示すように、四角形の頂点を「時計回りに番号付け」するが、分割線(DL)は、図2(3)に示すように、L頂点から「時計回り」か「反時計回り」の方向に引く。時計回りの分割線を「FDL(Forward DL)」、反時計回りの分割線を「BDL(Backward DL)」とする。図2(2)に示すDL1は、両側からDLが引かれると考えると、「F&BDL(Forward&Backward DL)」とする。この分割線の引き方は「分割パターン」として、活性四角形でもある分割四角形に保存される。ポリゴン分割時及び整形時に、分割パターンに応じて、どの辺とどの辺の交点を求めて、分割四角形の頂点

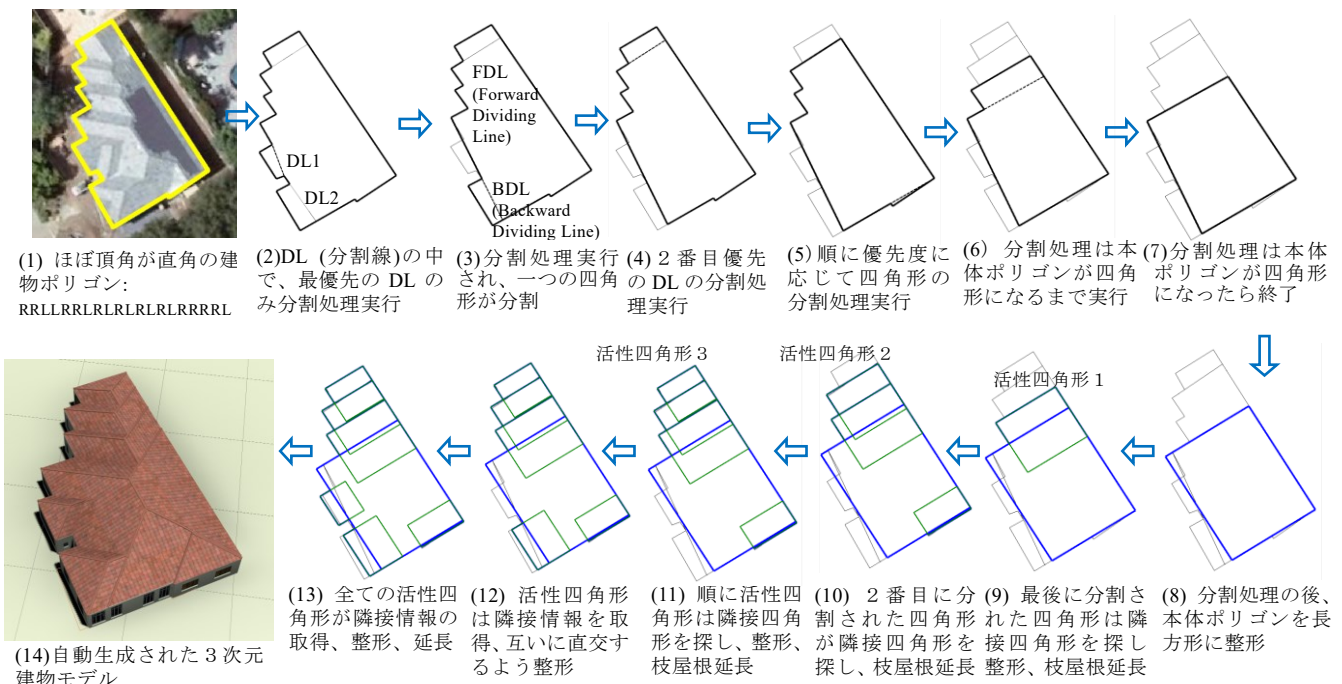


図2 建物ポリゴンの分割、ポリゴン整形、枝屋根延長しての3次元建物モデル自動生成の詳細なプロセス

とするか、それから、ポリゴン整形時にどの頂点を「基準点」とするかがこの「分割パターン」によって決まる。GISモジュールによって、次の前処理を行う。

- (1) 建物ポリゴンの各辺の長さや傾き、左右にどちらに曲がるのか(RL表現)、各頂点の内角の計測。
- (2) 内角がほぼ180度の頂点をフィルタリング。
- (3) ポリゴン各辺の辺長の総和が最大となる辺の傾きである「主傾き(Main Angle)」の算出。
- (4) 窓やドアの配置のため、元建物ポリゴンをセットバックした縮小ポリゴンの生成。
- (5) RL表現で、L頂点(Left Turn)間の連続するR頂点(Right Turn)の個数(=n_R)のカウント。
- (6) 「連続するR頂点の個数(=n_R)」に応じて枝屋根の分類、さらにL頂点の前後の辺の長さや分割線から対向するポリゴン辺までの距離に応じて、分割パターンと優先度を決め、分割処理の実行。
- (7) 分割された四角形について、その「頂点の番号付け」と隣接している四角形を探す「活性四角形(Active Quad)」かどうか、「主傾き」に対する分割四角形の傾きに応じて反転(Flip)するかの判定。
- (8) 活性四角形が、外部のどの四角形のどの辺にどのように接するかを調べ、「主屋根との共通頂点である頂点」(母点とする)を基準として平均長辺と平均短辺、主傾きから、整形四角形の形成。
- (9) 整形四角形に関連付けられている「属性情報(屋根タイプ、長辺や短辺の長さ等)」をCGモジュールへ出力。

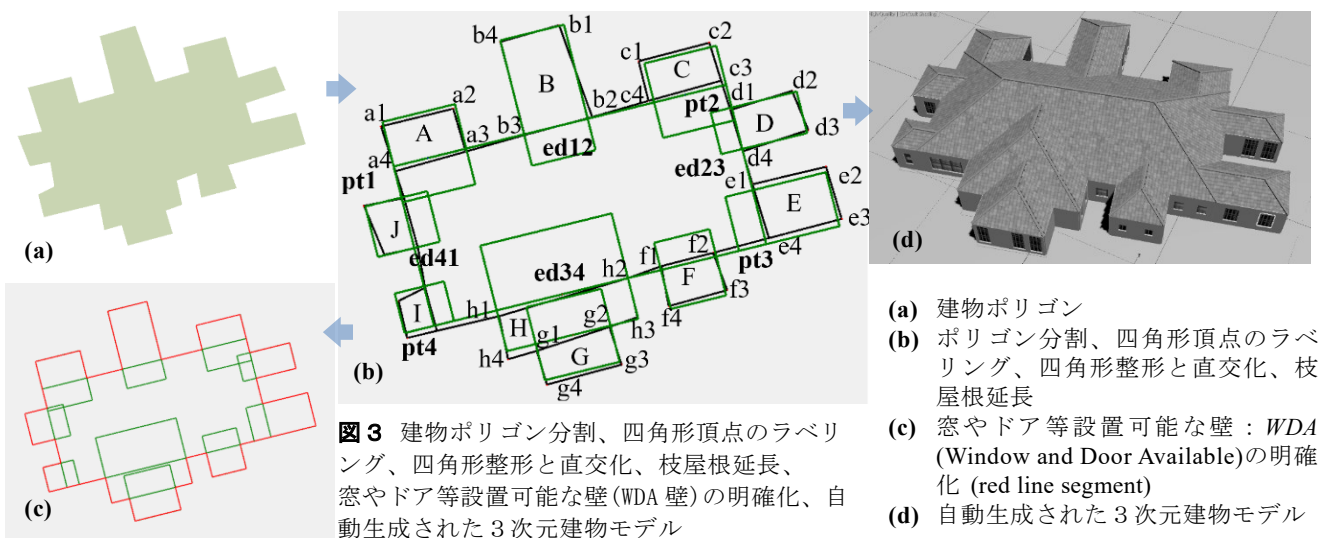
4. 窓等設置可能な壁の明確化

これまでの研究⁴⁾で、図3(a)に示すような頂角がほぼ直角のポリゴンを、四角形の集まりまで分割して、分割四角形の頂点を図3(b)に示すように、ラベリング(番号付け)を行った。活性四角形の活性辺はどの辺か、隣接四角形のどの辺か、どの様に接していたか、四角形の傾きなどは、四角形の頂点をラベリングすることで取得できる。図3(b)に示すように、頂点のラベリングは四角形の頂点を時計回りに辿るとき、右に向かう最長辺の始点を

を点1として、順に頂点のラベリングを行う。同じく、これまでの研究⁴⁾で、図3(b)が示すように、分割四角形は「活性辺(Active Edge)」、または、「保存辺(Stored Edge)」を共有して、主ポリゴンに接続するとした。これらの辺上には、壁を作らない。これらの辺以外の辺上に壁を作り、ポリゴン全体を囲むように壁は作られる。ここで、窓やドア等を設置する場合、設置が可能な壁かどうかを明確化しなければ、窓やドアが「分岐建物部」と交差してしまうという不具合を生じる。

枝部はそれを切り取る時、主ポリゴンの辺に切り取った「切り跡(trace)」を残す。本システムはこの痕跡を分類、ソートして、WDA壁を明らかにする。明確化は以下の手順で行われる。

- (1) これまでの研究⁴⁾でも述べたように、枝部を切り取る時、分割四角形のID、分割辺のID(ed12, ed23, ed34, ed41)と分割パターン(Forward DLかBackward DLかF&B DL等)の「隣接情報」と分割四角形の「切り跡(trace)」である「活性辺(Active Edge)の主ポリゴン辺上の頂点情報」を取得する。具体的には、図3(b)が示すように、主ポリゴンの「辺12(ed12)」には、枝部が3つあり、枝部の分割パターンに応じて、「切り跡(trace)」は、順に頂点a4(=pt1), a3, b3, b2, c4とc3(=pt2)となる。
- (2) 本システムは、「活性四角形」が隣接四角形を見つけたとき、この切り跡の頂点数(=n_v)を数え上げる。このとき、活性辺(Active Edge)の場合、壁がないので、n_v=0。
- (3) 切り跡の頂点群は、主ポリゴン辺の端点からの距離でソートする。そのために各頂点と端点との間の距離を計算する。
- (4) WDA壁は枝部の分割パターンに依存する。例えば、主ポリゴンの「辺12(ed12)」には、FDLとBDLの枝部があり、枝部の分割パターンに応じて、「切り跡(trace)」は、順にa4(=pt1), a3, b3, b2, c4とc3(=pt2)となり、WDA辺は時計回りに頂点a3からスタートして、辺a3-b3、続いて、辺b2-c4の合計2個だけとなる。WDA辺の個数(=n_{wda})もシステムはカウントする。これらWDA辺は図3(c)の赤線でも示す。



(5) 全ての分割四角形の全ての4辺について、壁がなければ $n_{wda}=0$ 、1枚壁があれば $n_{wda}=1$ 、WDA壁があれば、WDA壁の枚数、それから、WDA辺の辺長、辺の傾き、両端の頂点座標をCGモジュールへ出力する。

5. まとめ

本システムでは、建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割して、互いに直交する長方形の集まりまで整形し、各長方形の上に個別に建物、屋根を配置して3次元建物モデルを自動生成した。下の図4においても、建物ポリゴン毎に属性情報を与えて、一部の屋根は切妻屋根、または、寄せ棟屋根として自動生成した。このように長方形の上に直方体を形成し、複数の直方体を組み合わせて建物を作るとき、直方体が繋がったところには窓やドアを設置できず、壁も不要である。本研究では、この「繋がったところ」を自動的に検出し、窓やドア等設置可能な壁を明かにした。

自動生成した3DモデルとBIMソフトの連携について、BIMソフト「Revit」(Autodesk社)でインポートした3Dモデルは「Downloadableファミリー」として分類され、属性情報も既定値が割り当られる。「Revit」はDGN、DWF、DWG、DXF、IFCなどのCADフォーマットのデータをインポートできるが、「3ds Max」は、CADやBIMとの連携をあまり考慮しておらず、現在のところ、DWGとDXFのファイルを出力できるだけである。

CADフォーマットの中で、「IFCフォーマット」はBIMモデルを構築するのに整合がとれたフォーマットで、IFCフォーマットでは、階層構造を持つ要素の「幾何形状

の寸法、材質、価格、メーカー名、型番等」の属性情報を要素に持たせ、BIMモデルを構築できる。しかしながら、現在のところ、3ds MaxはこのIFCフォーマットで設定された3Dモデルをエクスポートすることはできない。これは3ds Maxはそのような階層化した要素の属性情報を有する3Dデータを管理する仕組みを持っておらず、また、3DCADが要求するような寸法の精度も持ち合わせていない。そのため、今後、3ds MaxとBIMとの連携が強化されるとして、本研究では、3ds Maxから、BIMソフトがインポートできるような階層化された要素の属性情報(例えば、隣接情報など)を備えた3Dモデルを統合化システムが出力できるよう開発することが今後の課題となる。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費の研究課題番号：18K04523と19K04750、20K03138の助成を受けて遂行された。ここに謝意を表す。

【参考文献】

- 1) Sugihara K. and Kikata J.: "Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE (American Society of Civil Engineers) January 2012.
- 2) Pascal Müller, Peter Wonka, Simon Haegler, Andreas Ulmer, Luc Van Gool: Procedural modeling of buildings, ACM Transactions on Graphics 25, Vol. 3, pp.614-623, 2006.
- 3) O. Aichholzer, F. Aurenhammer, and D. Alberts, B. Gärtner: A novel type of skeleton for polygons, Journal of Universal Computer Science, Vol.1 (12), 752-761, 1995
- 4) 杉原 健一, 村瀬 孝宏: "3次元建物モデルの自動生成のための建物境界線のポリゴン整形", 土木学会論文集F3(土木情報学) Vol. 72 (2016) No. 2 p. I_167-I_174.

