

(8) 窓やドアの設置可能な壁を明らかにするポリゴン分割法による3次元建物モデルの自動生成

杉原 健一¹・村瀬 孝宏²

¹正会員 岐阜協立大学教授 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 中京学院大学 短期大学部(〒509-6192 岐阜県瑞浪市土岐町2216)
E-mail: murase@chukyogakuin-u.ac.jp

これまでの研究で、電子地図上の直角建物境界線(建物ポリゴン)を四角形の集まりに分割し、それらを互いに直交する長方形の集まりまで整形し、各長方形の上に直方体形状の建物本体を配置、組み合わせて3次元建物モデルを自動生成した。この分割処理時に、分割された四角形(分割四角形)の各頂点の「ラベリング(番号付け)」を行い、分割四角形の傾きや分割四角形のどの辺で、外部のどの四角形にどのように接していたか等の「隣接情報」を取得する。本研究では、分割四角形のどの辺に壁を作り、窓やドアが設置可能な壁(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、建物の直方体を組み合わせるとき、窓と他の直方体との「不要な交差」が生じる。本研究では、こうした交差を防ぐために「WDA壁を明らかにするポリゴン分割法」による建物の自動生成を提案する。

Key Words : automatic generation, 3D building model, polygon partition, building footprint, CG

1. はじめに

都市計画や建築設計、特に、BIM (Building Information Model)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、津波対策のための「住居の高台移転の案」、あるいは、このコロナ禍において、建物の中を飛沫がどう漂うのか、「安全な空気の流れを創る建物」の設備、設計はどうあるべきか等をシミュレーションするには、それぞれ、専門家が描く「建物境界線や平面図」に基づき、3次元CGやCADソフトを用いて、膨大な手作業にて、建物の3Dモデルを製作する。

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、建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割するが、その過程で、分割された四角形(分割四角形)の傾きを計測し、外部のどの四角形のどの辺に、どのように接していたかを「隣接関係」の情報として「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

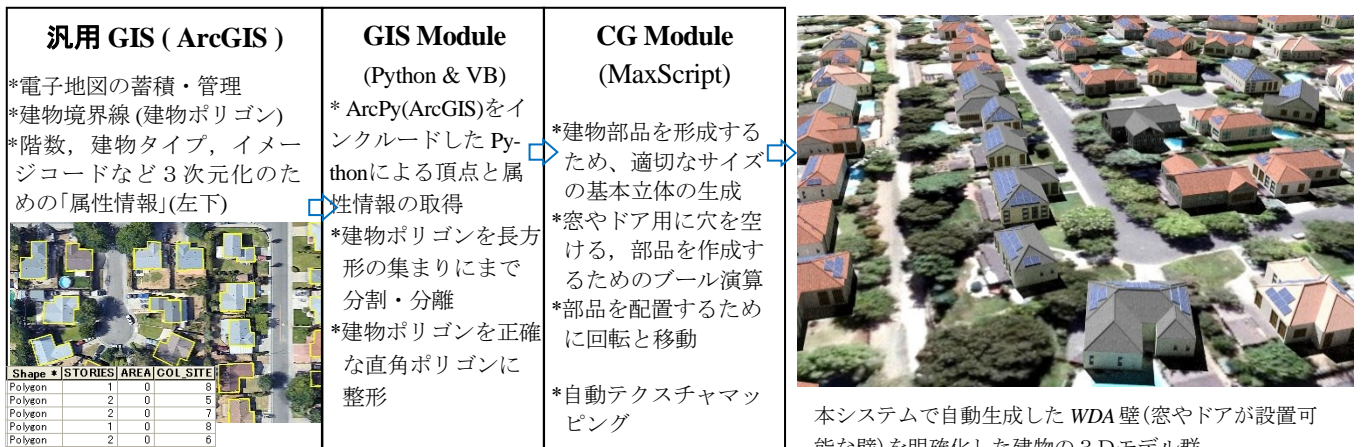


図-1 3次元建物モデルの自動生成システムの構成と自動生成のプロセス

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、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(Unwanted Intersection)」が生じる。こうした事態を避けるために、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。

2. 既往の研究

3次元建物モデルを作るとき、大きく2つの構築する立場があると考えられる。1つは、まだ、存在しない、これから建築する建物のために3次元建物モデルを作る立場、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、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、建物を建設する立場で、前もって、3次元建物モデルを作り、パース絵などに利用する。昨今では、平面図、立面図を作る前に、3次元建物モデルを作り、それから、これらの設計図書を3Dモデルから生成するBIM (Building Information Model) 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、各四角形の上に個別に建物形状を作成できる。屋根形状は多種多様であり、「四角形の長辺に垂直な頂線」となる屋根も存在する。本システムでは、分割・分離した四角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、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に示す。街の3Dモデルの情報源は、図-1左に示すような属性情報に関連付けた建物境界線(建物ポリゴン)を描いた電子地図である。電子地図は、汎用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。Visual Basic.NETで開発した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)の個数のカウント。
- (6) 「連続するR頂点の個数」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」⁴⁾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) 整形した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、傾き、頂点座標など)をCGモジュールへ出力。

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)が取込み、以下の処理を自動的にを行い、建物の3Dモデルを自動生成する。(1)整形した四角形に基づいて、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の生成。(2)これらの基本立体間で、屋根や窓用に穴空け、部品作成のためのブール演算。(3)作成した部品の回転。(4)作成部品の正しい位置への配置。(5)それらにテクスチャマッピングの施し。

4. WDA壁の明確化

WDA壁(Windows and Doors Available wall: 窓やドア等設置可能な壁)を明確化する手法を以下に述べる。これまでの研究⁴⁾で、**図-2**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-2(b)**に示すように、ラベリング(番号付け)を行った。同じく、これまでの研究⁴⁾で、**図-2(b)**が示すように、分割四角形は「活性辺(Active Edge)」, もしくは、「保存辺(Stored Edge)」を共有して、主ポリゴンに接続し、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。これは、Müller²⁾も指摘する不具合(不要な交差:Unwanted Intersection)で、Müller²⁾は、交差するボリュームがお互いのことを知らないと、この不要な交差が窓を不自然にカットしてしまうと述べている。

枝部はそれを切り取るとき、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、枝部を切り取るとき、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」⁴⁾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-2(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⁴⁾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とする。
- (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(Forward Dividing Line)とBDL(Backward Dividing Line)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、活性辺でもある辺a3-b3, 続いて、辺b2-c4の合計2個

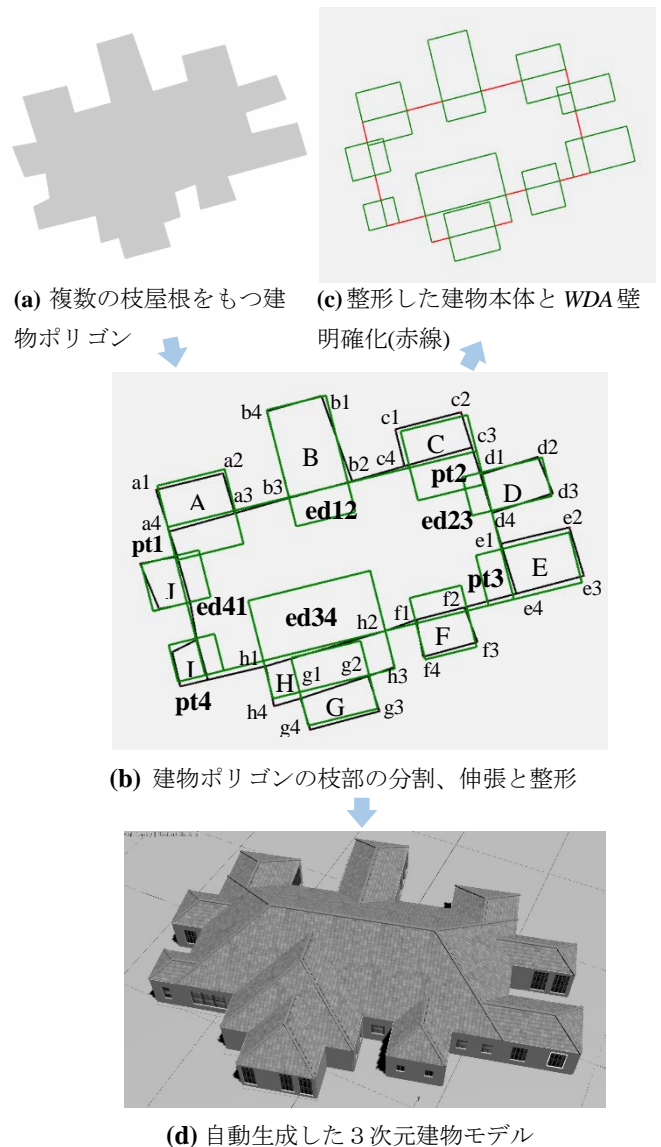


図-2 ポリゴン分割、整形、枝屋根の伸長 および、WDA壁(Windows and Doors Available wall)の明確化のプロセス

表-1 FDLとBDLによる枝四角形の存在フラグ、WDAの個数

Forward DLによる枝四角形の存在フラグ	Backward DLによる枝四角形の存在フラグ	枝四角形の個数	WDAの個数(=n _{wda})	WDA in 図-2(b)
ed12 on	ed12 on	3	2	ed12
ed12 off	ed12 on	3	3	
ed12 on	ed12 off	3	3	
ed12 off	ed12 off	3	4	
ed23 on	ed23 on	2	1	
ed23 off	ed23 on	2	2	
ed23 on	ed23 off	2	2	ed23
ed23 off	ed23 off	2	3	
ed34 on	ed34 on	2	1	
ed34 off	ed34 on	2	2	
ed34 on	ed34 off	2	2	
ed34 off	ed34 off	2	3	ed34
ed41 on	ed41 on	2	1	
ed41 off	ed41 on	2	2	ed41
ed41 on	ed41 off	2	2	
ed41 off	ed41 off	2	3	

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-2(b)と図-2(c)の赤線でも示す。

それから、「辺 34(ed34)」には、FDL と BDL の枝部がなく、WDA 辺は(pt3, f2), (f1, h2), (h1, pt4)となり、 $n_{wda}=3$ となる。この FDL と BDL の有無(存在フラグで表す)や枝部の個数、WDA 辺の個数(n_{wda})を表-1にまとめる。

(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

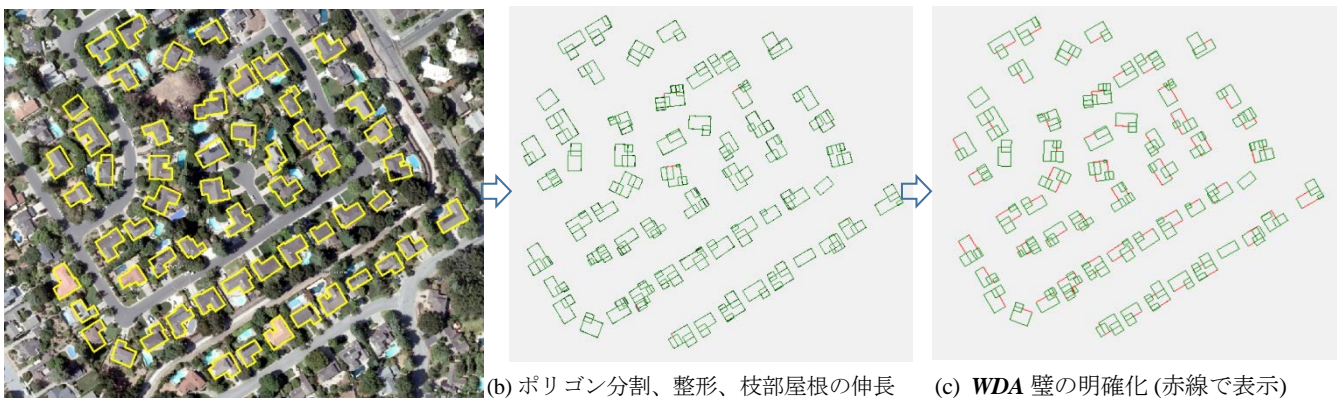
本システムでは、建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割して、互いに直交する長方形の集まりまで整形し、各長方形の上に個別に建物、屋根を配置して3次元建物モデルを自動生成した。下の図-3においても、建物ポリゴン毎に属性情報を与えて、一部の屋根は切妻屋根、または、寄せ棟屋根として自動生成した。このように長方形の上に直方体を形成し、複数の直方体を組み合わせて建物を作るとき、直方体が繋がったところには窓やドアを設置できず、壁も不要である。本研究では、この「繋がったところ」を自動的に検出し、窓やドア等設置可能な壁を明か

にした。本システムの利点は、3次元建物モデルをCSG(Constructive Solid Geometry)で中身のつまった基本立体間のブール演算で作成された部品を用いて生成することで、BIM との親和性が高いということである。Procedural modeling では、生成される3次元建物モデルは表面だけでできている表面モデル(Surface Model)であり、表面モデルを土木・建築分野で活用する場合は建物表面に沿って、例えば、幅の狭い屋根根板、壁板を敷き詰めるというようなモデリングが必要となる。

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。ここに謝意を表する。

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), pp.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.



(a) デジタル地図上の建物ポリゴン
(b) ポリゴン分割、整形、枝屋根の伸長
(c) WDA 壁の明確化(赤線で表示)
(d) 自動生成した3次元建物モデルを配置した住宅地域

(e) 自動生成した3次元建物モデルを配置した住宅地域

図-3 ポリゴン分割、整形、枝屋根の伸長、および、WDA 壁 (Windows and Doors Available wall) の明確化プロセス