

(30) 3次元建物モデルの自動生成のための 建物境界線の直角ポリゴン整形

杉原 健一¹・村瀬 孝宏²

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 中京学院大学 中京短期大学部 (〒509-6192 岐阜県瑞浪市土岐町2216)

E-mail: murase@chukyogakuin-u.ac.jp

3次元都市モデルは、様々な分野で利活用が期待される重要な「情報基盤」である。これまでの研究で、電子地図上の建物境界線が「頂角がほぼ直角の直角ポリゴン」である場合、それらを長方形の集まりまで分割・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、3次元建物モデルを自動生成する手法を提案した。しかし、地図製作企業では、作業者が衛星写真をみて、建物でない地物の影響を排除しながら、手作業で建物境界線を描くので、建物ポリゴンは厳密に頂角が直角の直角ポリゴンではない。そのため、Box形状を組み合わせて作る建物で、そのBox間に「隙間」や「重なり」が生じてしまう。本研究では、建物ポリゴンを正確な直角ポリゴンに整形し、精緻な建物の3Dモデルを自動生成する手法を提案する。

Key Words : automatic generation, 3D building model, polygon partitioning, shape rectification

1. はじめに

3次元都市モデルは、様々な分野で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。これまでの研究成果で、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^{1)・2)}。

本システムで、電子地図上の建物ポリゴンが「頂角がほぼ直角の直角ポリゴン」である場合、それらを長方形の集まりまで分割・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、地図製作企業（主に都市計画コンサルタント企業）では、作業者が衛星写真をみて、木やその他の建物でない地物の影響を排除しながら、手作業で建物境界線を描くので、建物ポリゴンは厳密に頂角が直角の直角ポリゴンではない。

そのため、Box形状を組み合わせて作る建物で、そのBox間に「隙間」や「重なり」が生じてしまう。本研究では、建物ポリゴンを正確な直角ポリゴンに整形(Rectification)し、精緻な建物の3Dモデルを自動生成するアルゴリズムを提案する。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長方形の集まりまで分割・分離して、各長方形上に任意の多種多様な建物形状を作成する。屋根形態は多種多様であり、「長辺に垂直な頂線」とな

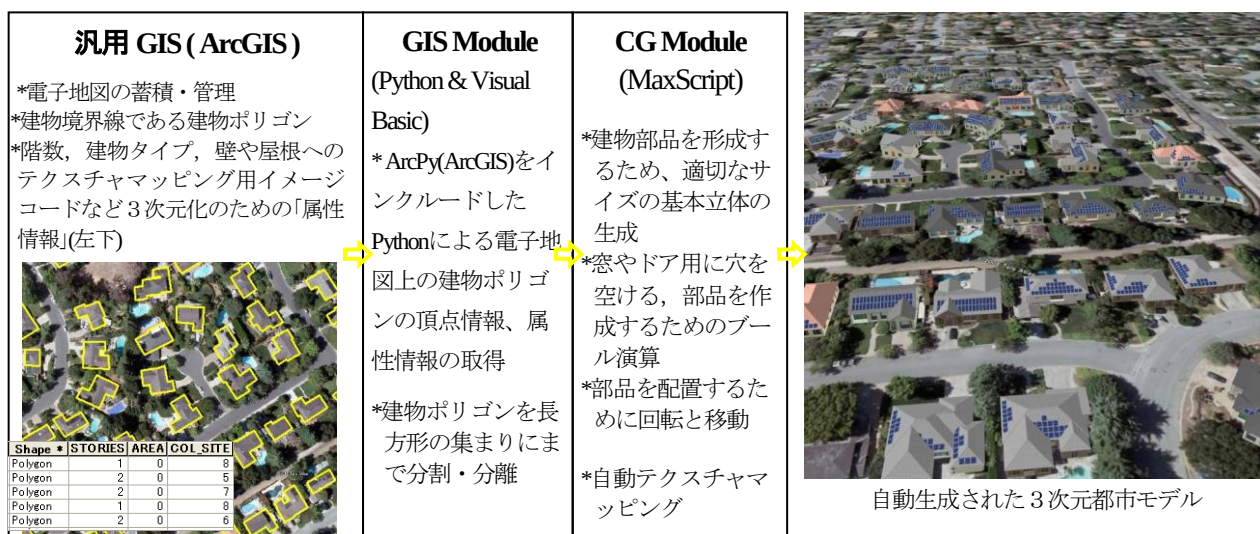


図-1 自動生成システムの構成と3Dモデルの自動生成のプロセス

る屋根も存在する。筆者らはこれまでの研究で、電子地図上の直角建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割・分離して、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で決め、多種多様な屋根形状を自動生成する手法を提案した²⁾³⁾。

「頂角がほぼ直角の建物ポリゴン」を四角形の集まりまで分割・分離する際、分割される「枝屋根」は切り取られた「主屋根」に伸ばす必要がある。建物ポリゴンが完全に四角形に分割・分離される前の段階で、枝屋根を伸ばすべき四角形は、隣接していた四角形はどれで、その四角形のどの辺にどのように接していたかが不明である。そこで、「枝屋根」である四角形を、枝屋根を伸ばすべき隣接している四角形を探す「活性四角形」(Active Rectangle とする)として、ポリゴンを四角形の集まりに分割した後に、「活性四角形」は隣接していた四角形は何番で、その四角形のどの辺に「どのように接していたか」を調べることにした。

このようにして四角形の隣接関係を明らかにし、再度、建物ポリゴンを再構築するさい、直角建物ポリゴンの各辺の長さ、傾きから「直角建物ポリゴンの主傾き(main angle)」を算出し、「主屋根との共通頂点である頂点」を基準として、整形した四角形を形成する。このように、本研究では、通常、手作業で描いている、頂角が“ほぼ直角”の直角ポリゴンである建物ポリゴンを正確な直角ポリゴンに整形し、精緻な建物の3Dモデルを自動生成する手法を提案する。

2. 建物ポリゴンの分割

頂角が“ほぼ直角”の直角ポリゴンである建物ポリゴンを図-2に示す。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」とする。

図-2の建物ポリゴンの場合、ポリゴン左下端の頂点から辿ると「RRLRRRRLRLRLRR」というRL表現となる。この直角ポリゴンは、適切に分割線(Dividing Line)を引くことによって、「長方形」の集まりに分割・分離することが可能である。Reflex 頂点(内角が180度以上の頂点)である左に曲がる頂点:「L頂点」から分割線は2本引くことができる。これまでの研究で、この分割線の中から、次の3つの条件を満たす線を選び、分割処理を実行する。

- (1) 四角形を切り取る。
- (2) 分割線の長さが切り取られる四角形の反対側のポリゴン辺までの最短距離より短い。
- (3) L頂点からは1本の分割線だけに決める。

条件(1)の四角形を切り取る分割線は、RL表現で、L頂点間の連続するR頂点の個数が2個以上で、R頂点を挟むL頂点からの分割線は四角形を切り取れる可能性がある。L頂点で挟まれるR頂点が1個の場合は1本の分割線で、四角形を切り取ることはできない。あるL頂点を起点とする分割線が、それから連続する2個あるいは3個のR頂点でその最後のR頂点を起点とする辺と交わるような分割線は、条件(1)の四角形を切り取る分割線となりうるが、連続する4個以上の最後のR頂点を起点とする辺と交差する分割線は四角形を切り取ることはできない。これは、四角形は、連続する4個のR頂点から成り立つからである。

従って、本システムでは、連続するR頂点の個数をカウントして、その数が2個、3個、4個、5個以上と場合分けして、連続するR頂点を挟む2個のL頂点前後の辺の長さに応じて、分割線が条件にあうかわないかで、分割処理を行うか行わないかを決め、行う場合にその分割線の方角である「分割パターン(Dividing Pattern)」を決める。条件(2)は、分割された四角形から伸びていく「枝屋根」が、枝屋根が伸びてくる主屋根より高くなると不自然となるため、枝屋根の高さを低くするための条件である。条件(3)は、最小の分割にするための条件である。

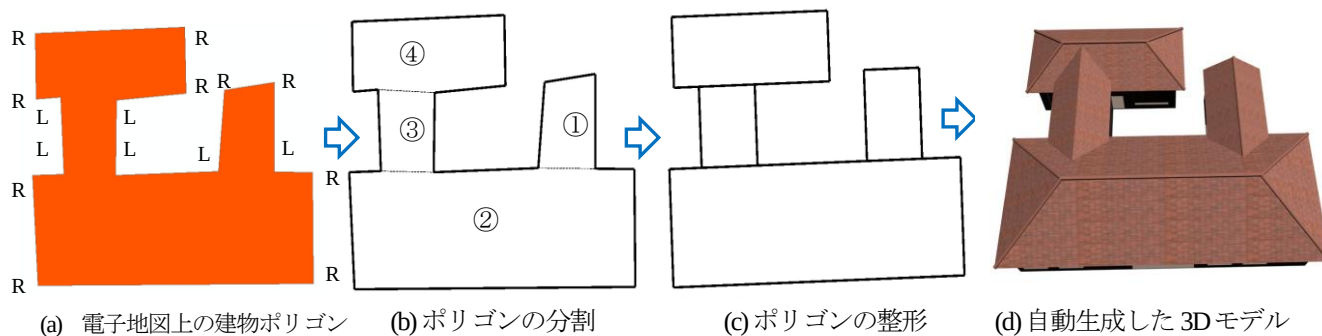


図-2 建物ポリゴンの分割・整形処理を行っての3Dモデルの自動生成

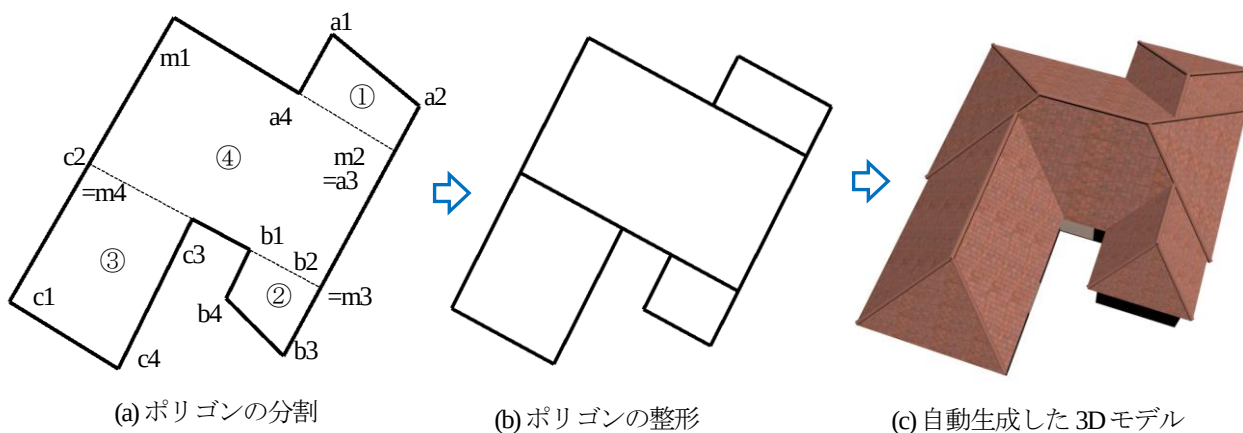


図-3 自動生成のプロセスと分割した四角形の頂点の番号付けと共有する母点からのポリゴンの整形

3. 枝屋根の形成

図-2は、建物ポリゴンの分割・整形処理を行っての屋根付き建物の3Dモデルの自動生成のプロセスを示す。図-2の(b)において、ポリゴンは「分割される順番」で「番号付け」された4つの四角形に分割される。ここで、四角形①と③は、それら四角形の上に、平面図上で、それら四角形とほぼ同じ形の屋根を形成すると、切れた独立した屋根となってしまふ。四角形①と③は、「枝屋根」として、どの辺をどこまで屋根として延長するかを計算して、図-2(d)にあるように、切り取られた「主屋根」に伸ばす必要がある。

また、四角形に分割された図-2(b)の前の段階で、枝屋根を伸ばすべき四角形①と③は、隣接していた四角形は何番で、その四角形のどの辺にどのように接していたかが不明である。例えば、四角形①を分割する段階で、「隣接する図形」は四角形に分割されておらず、何番の四角形であるか分からない。そこで、四角形①と③を、枝屋根を伸ばすべき隣接している四角形を探す「活性四角形」(Active Rectangle とする)として、ポリゴンを四角形の集まりに分割した後に、「活性四角形」は隣接していた四角形をサーチする。即ち、隣接四角形は何番目の四角形で、その四角形のどの辺に「どのように接していたか」を調べることにした。「どのように接していたか」によって、どの分割線とどの辺との交点を求めて、分割処理するかが決定される。四角形を分割する際、この「分割パターン」を、四角形に関連付ける。GISモジュールのプログラムにおいて、四角形は、4つの頂点の位置、傾き、長辺や短辺の長さ、活性四角形であるかないか、隣接四角形、屋根のタイプ(切妻屋根、寄せ棟屋根、片流れ屋根等)など以外に上記の分割パターンなどを構造体変数として持つようなグローバル変数として定義する。

4. ポリゴン整形

活性四角形が、どの四角形のどの辺に、どのように接するかを調べ、ポリゴンの各辺の長さ、傾きから算出した「直角建物ポリゴンの主傾き(main angle)」を使い、「主屋根」との共通頂点である頂点(これを母点: generatrix とする)を基準として、活性四角形の平均長辺と平均短辺から、整形した四角形を形成する。図-3(a)に示すように、まず、分割された頂角がほぼ直角の四角形は、四角形の上側の長辺の始点を番号1(図-3では、a1, m1 など)とし、時計回りに、四角形の頂点を「番号付け」する。四角形①の辺 a34(点 a3 と点 a4 を繋ぐ辺)は、時計回り方向の分割線(Forward Dividing Line: FDL)である。また、四角形②辺 b12 は時計回りの反対方向の分割線(Backward Dividing Line: BDL)である。四角形①は活性四角形で、隣接する四角形をサーチするが、①の辺 a34 上の点(Checkpoint)がどの四角形のどの辺の上にあるかを調べる。どのように接するかは、分割する際に分割線の引き方で分かるので、その分割パターンを四角形①に蓄える。サーチの結果、四角形①の辺 a34 が四角形④の辺 m12 上にあることを突き止める。そして、四角形①と④の共通頂点である母点(a3=m2)を基準として、活性四角形の平均長辺(w_L)と平均短辺(w_S), Main Angle(θ)から、整形した四角形を生成する。四角形①については、以下の式で、整形した四角形の頂点の位置を算出する。

$$\begin{aligned} a1.x &= m2.x - w_S \cdot \sin \theta - w_L \cdot \cos \theta \\ a1.y &= m2.y + w_S \cdot \cos \theta - w_L \cdot \sin \theta \\ a2.x &= m2.x - w_S \cdot \sin \theta : a2.y = m2.y + w_S \cdot \cos \theta \\ a4.x &= m2.x - w_L \cdot \cos \theta : a4.y = m2.y - w_L \cdot \sin \theta \end{aligned}$$

四角形③については、主屋根④と共通頂点である頂点を母点(c2=m4)を基準として、次ページの式で、整形した四角形の頂点の位置を算出する。

$$\begin{aligned}c1.x &= m4.x - w_L * \cos\theta : c1.y = m4.y - w_L * \sin\theta \\c3.x &= m4.x + w_S * \sin\theta : c3.y = m4.y - w_S * \cos\theta \\c4.x &= m4.x - w_L * \cos\theta + w_S * \sin\theta \\c4.y &= m4.y - w_L * \sin\theta - w_S * \cos\theta\end{aligned}$$

他の四角形についても、主屋根と共通頂点を基準として、同様の式で、整形した四角形の頂点の位置を算出する。

5. まとめ

図-4 (d) (e) で示すようなは3次元都市モデルは、様々な分野で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次元モデリングするのに、多大な時間と労力をかけている。これまでの研究で、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。図-4の本システムを手書きの電子地図図に適用した事例では、ほぼ、現実に近い建物のモデルを作成している。本システムは、デザイナーが描く建物境界線に基づいて、「現実にはない」将来の街の3次元モデルを短時間で自動生成できる。本研究では、通常、手作業で描いて

いる、頂角が“ほぼ直角の建物ポリゴン”を正確な直角ポリゴンに整形し、精緻な3次元建物モデルを自動生成する手法の提案を行った。そのために、建物ポリゴンを分割した四角形の集まりで、隣り合う四角形間の隣接関係を明らかにし、次に建物ポリゴンを再構築する際、ポリゴンの主傾きと「隣接四角形の共通頂点である母点」を基準として、直角ポリゴンに整形した。

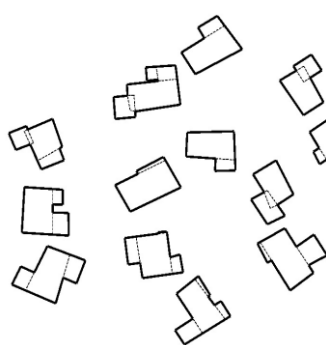
謝辞: 本研究は、JSPS科研費の研究課題番号：15K06260と16K01045の助成を受けて遂行された。ここに謝意を表する。

参考文献

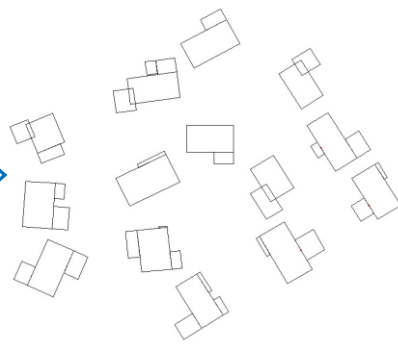
- 1) Sugihara, K.: Automatic Generation of 3D Building Models with Various Shapes of Roofs, *ACM SIGGRAPH ASIA Sketches* DOI: 10.1145/1667146.1667181. 2009.
- 2) Sugihara, K. and Hayashi, Y. : Automatic Generation of 3-D Building Models with Multiple Roofs, *Journal: Tsinghua Science & Technology* (清華大學(中国)のジャーナル), vol. 13, pp. 368-374, 2008.
- 3) Sugihara, K. and Kikata, J.: Automatic Generation of 3D Building Models from Complicated Building Polygons, アメリカ土木学会 *Journal of Computing in Civil Engineering*. 2012. doi:10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000192., 2012



(a) 電子地図上の建物ポリゴン



(b) 建物ポリゴンの分割・分離



(c) ポリゴン整形



(d) 自動生成された3次元都市モデル(その1)



(e) 自動生成された3次元都市モデル(その2)

図-4 適用事例：建物ポリゴンの分割・分離とポリゴン整形を行っての3次元都市モデルの自動生成