⑶ 分割四角形に異なる階数を与えるポリゴン分割手法による階段状建物モデルの自動生成

杉原　健一[1]・沈　振江[2]・村瀬　孝宏[3]

[1]正会員　金沢大学　理工研究域 (〒920-1192 石川県金沢市角間町ヌ7番地)
E-mail:mjsbp812@yahoo.co.jp

[2]非会員　金沢大学　理工研究域 (〒920-1192 石川県金沢市角間町ヌ 7 番地)
E-mail:shenzhe@t.kanazawa-u.ac.jp

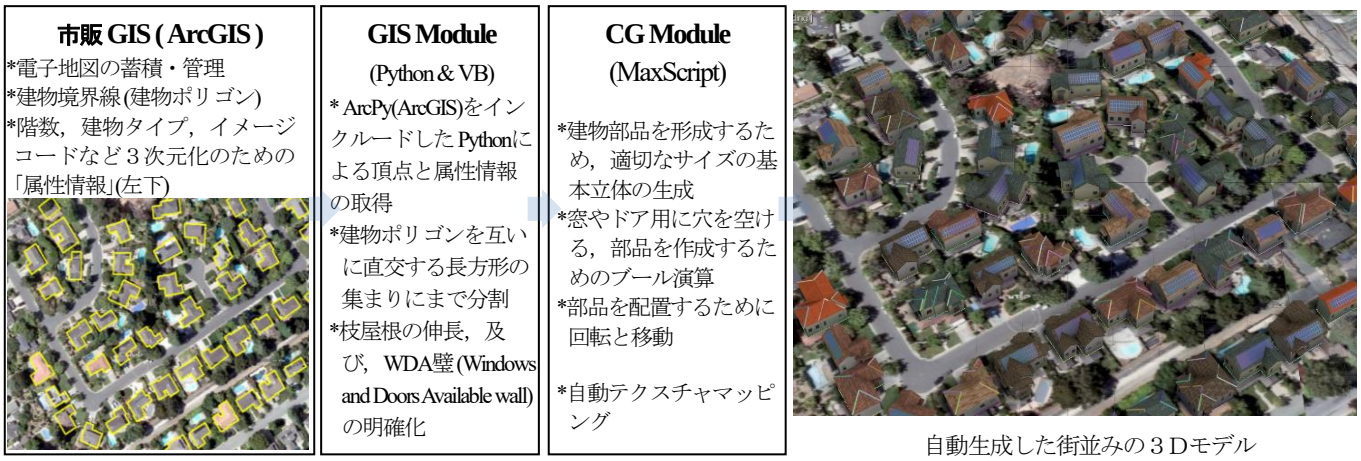
[3]非会員　中京学院大学　短期大学部 (〒509-6192　岐阜県瑞浪市土岐町2216)
E-mail: murase@chukyogakuin-u.ac.jp

本研究では，電子地図上の建物境界線(建物ポリゴン)を四角形の集まりに分割した「分割四角形」に異なる階数を与えるポリゴン分割手法によって，「階段状建物」の自動生成を目指した．これまでの研究で，建物ポリゴンを四角形の集まりに分割・整形し，建物ポリゴンに関連付けられている階数に基づきポリゴン全体を階数分，「押し出し」処理して３次元建物モデルを自動生成した．本手法では，分割四角形に与える階数を，その四角形が枝部を持ち，さらに，その枝部が何層まで子の枝部を持つかの「レベル(ツリー深さ)」に拠るとした．即ち，建物ポリゴンを分割四角形の集まりの「ツリー構造」とみなし，「ルート」はフル階数，「リーフ」は初期階数，途中の層の四角形にはフル階数と初期階数から計算される中間の階数を与え，階段状建物を自動生成する．

Key Words : *automatic generation, 3D building model, polygon partitioning, step-shaped building, CG*

1. はじめに

経済発展と社会的課題の解決を両立する「Society 5.0」の実現には，「IoT」や「責任あるAI」，「ビッグデータ解析」等の情報技術の成果を最大限活用し，現実都市のデジタルレプリカである「スマートシティ/Digital Twin」プロジェクトを強力に推進する必要がある．「Digital Twin」では，「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る．Digital Twinの３Ｄモデルは人や車の流れだけでなく，ビルのパイプラインの水や電気等の流れをリアルタイムで把握できるとしている．ここで，持続可能な「スマートビル」とこれらを集合した「スマートシティ/Digital Twin」はどうあるべきかを仮想空間で検討するとき，建物の３Ｄモデルは屋上緑化やソーラーパネルを備え，どれぐらいパネルが太陽光を受け止められるのか．さらに，３Ｄモデル内部，即ち，部屋に入ることができ，建物形状に応じて，冬に太陽光がどのように導かれるのか，あるいは，夏にはどのように遮蔽されるのか等をシミュレーションできれば，よりよいスマートビルの設計につながる．そのため，建物の３Ｄモデルを効率よく作



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

ることが求められる．しかし，現状では，３Ｄモデルを構築するには，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．

これまでの研究[1)~3)]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形状の建物本体と屋根を配置して３次元建物モデルを自動生成した．さらに，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も提案した[3)]．本研究では，分割四角形の集まりとなった建物ポリゴンを，分割される「枝部」を「子」，切り取られた四角を「親」とする「ツリー構造」とみなし，「ルート(root)」には建物ポリゴンに関連付けている「フル階数」，子がない「リーフ」は初期階数，ルートとリーフの間の「層」の四角形には階層とフル階数，初期階数から計算される中間の階数を与え，「階段状建物」を自動生成するとした．ここで，「層」は，その四角形が枝部を持ち，さらに，その枝部が何層まで子の枝部を持つかの「レベル(ツリー深さ)」とした．

2. 端枝部の場合分けによるＷＤＡの明確化

これまでの研究[1)]で，建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割し,これを直交する長方形の集まりまで整形し，長方形の上にBox形状の建物を配置して建物の3Dモデルを自動生成した． 本手法では,四角形の端に位置する分割四角である「端枝部」の有無に応じて，壁におけるＷＤＡの範囲を以下の**図-2**に示すように場合分けを行った．本システムでは，分割四角の各辺はオブジェクトとして，その辺に接していた「子の分割四角」のどの辺(即ち，辺の２頂点)が接していたかを「辺オブジェクト」に，その頂点に「添字」を割り当て記憶する．それら頂点を辺オブジェクトの「原点」(辺３４であれば原点は頂点３)からの距離に応じて，ソートして，ＷＤＡの明確化を行う．即ち，その辺にBackwardに分割する枝部がない場合(Bw_bra_flag=Off)は，ＷＤＡはその辺の原点からスタートし，Forwardに分割する枝部がない場合(Fw_bra_flag=Off)は，ＷＤＡはその辺の終点で終了する．Backwardに分割する枝部がある場合(Bw_bra_flag=ON)は，ＷＤＡは端枝部の本体四角と共有する頂点と異なる頂点からスタートするというように場合分けし，ＷＤＡを明確化する．

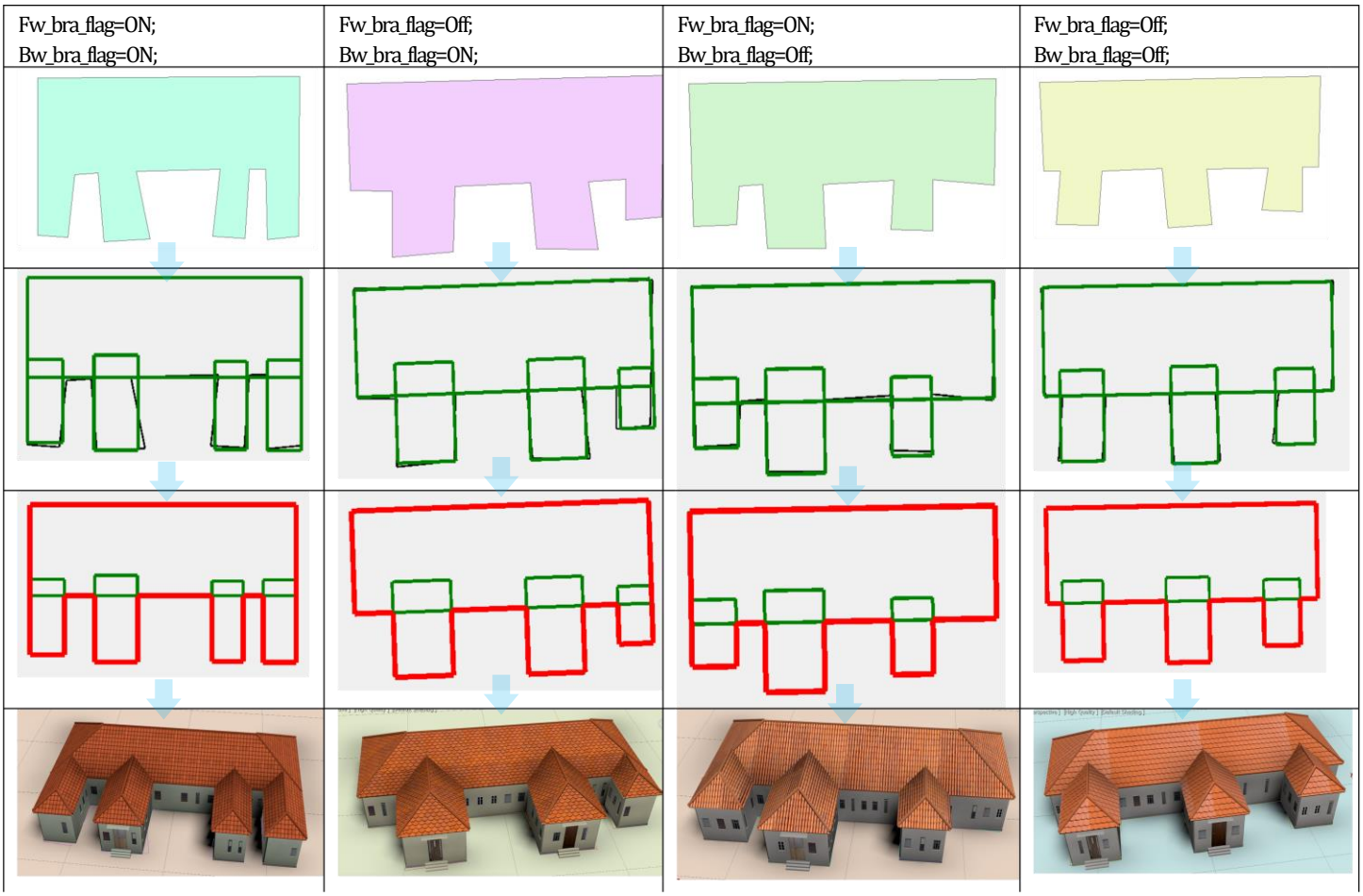


図-2 建物ポリゴンの端枝部の有無による場合分け，電子地図状の建物ポリゴン，ポリゴン分割，四角形整形と直交化，枝屋根延長，窓やドア等設置可能な壁(WDA壁)の明確化，自動生成された３次元建物モデル

3. 階数によるＷＤＡの変化

これまでの本手法では，建物ポリゴンに関連付けている階数に応じて，建物ポリゴン全体を，その階数分，「押し出し(extrude)」処理するように建物を自動生成してきた．建物の容積は多くとれるものの，階段状建物などの多様性のある建物は自動生成できなかった．階段状建物は，デザイン性が優れているだけでなく，屋上緑化やベランダに太陽光パネルを設置し，「スマートビルディング」の有力な候補となりうる．

本手法では，建物ポリゴンを四角形の集まりまで分割し，分割四角が「隣接四角の属性情報や隣接辺，隣接の仕方である”隣接情報”」を検索・取得し，それらに基づいて，分割四角上に建物を自動生成する．本手法では，この検索する分割四角が上記隣接情報に加え，「階層レベル(ツリーの深さ)」も取得し，分割四角が接続していた「親四角」の「階層レベル(k-th とする)」を取得し，自分より小さいか等しい場合に，その親四角の階層レベルを自分より一つ大きい階層レベルにする．この操作は，次にその親四角を「子四角」として，その子四角が親四角を持つかどうかを調べ，同様に，親の階層レベルが自分より小さいか等しい場合，親の階層レベルを自分より一つ大きい階層レベルにする．この操作を親四角が「ルート(ツリー構造の最上位)」か「吸収型四角」になるまで続ける．

上記操作を行い，全ての分割四角に「k-th (階層レベル)」が与えられ，それに基づいて，「階数」が計算される．この操作の結果を**図-3** の，本研究で自動生成した階段状建物で示す．即ち，ルートの四角は建物ポリゴンに関連付けた「フル階数」である１５階，四角形の集まりをツリー構造とみなし，リーフの四角は「k-th」が最小の１で，これには，同様にポリゴンに関連付けられた「スタート階数」より，３階としている．これらの中間の四角には，それらの k-th のレベルに応じて，階数を次の式に基づいて算出する．

floor_dif = Int((stories - sta_st) / (k-th_max - 1))
Rect(ii).story = sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)

ここで，「sta_st」は「スタート階数」，「stories」は「フル階数」，「Rect(ii)」は ii 番目の分割四角で，「Rect(ii).story」は分割四角の階数，「Rect(ii).k-th」は分割四角の「階層レベル(k-th)」，「Int()」は小数点以下を切り捨て，整数化する関数である．具体的に，**図-3** の建物の場合，sta_st=3, stories=15, k-th_max=7 となり，floor_dif=2 と算出され，Rect(ii).k-th=1 で Rect(ii).story=3 ， Rect(ii).k-th=2 で Rect(ii).story=5 となり以下，Rect(ii).k-th より，各分割四角の階数が算出される．

各分割四角の上に，算出された階数分の建物を生成することになるが，**図-4** に示すようにＷＤＡ壁の範囲は階数によって異なることになる．例えば，**図-4** のルートの四角にはフル階数(=15 階)が与えられるが，その３つの「子四角」は，k-th が異なるため子四角の階数が異なる．建物向かって右側の子四角の k-th は２であるので，階数=sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)=5 となり，建物向かって真中の子四角の k-th は４で，階数=sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)=9，建物向かって左側の子四角の k-th は６で階数=sta_st + floor_dif * (Rect(ii).k-th - 1)=13 となる．ルートの四角が１階から１５階まで階数を上げていくとき，５階までは隣接する３つの子四角から生成される「枝建物」と接し，６階からは向かって右側の枝建物は消え，９階までは２つの枝建物と接し，１０階からは，１つの枝建物と接し，さらに，１４階と最上階では接する枝建物はなくなり，ルート四角の全ての辺に窓が取り付けられる．

ＷＤＡは２章で述べた４つのケースに場合分けされて，導き出され，**図-3** の建物の１階から５階では，辺両側の端枝部がある場合(Fw_& Bw_bra_flag=ON)，６階から１３階では，片側のみ端枝部で，中間枝部(Fw_& Bw_bra)がある場合(Fw_bra_flag=ON, Bw_bra_flag=Off)と場合分けして，ＷＤＡを導出する．



図-3 本研究で自動生成した階段状ビルディング（１５階建て，階層レベル(k-th)は７層）

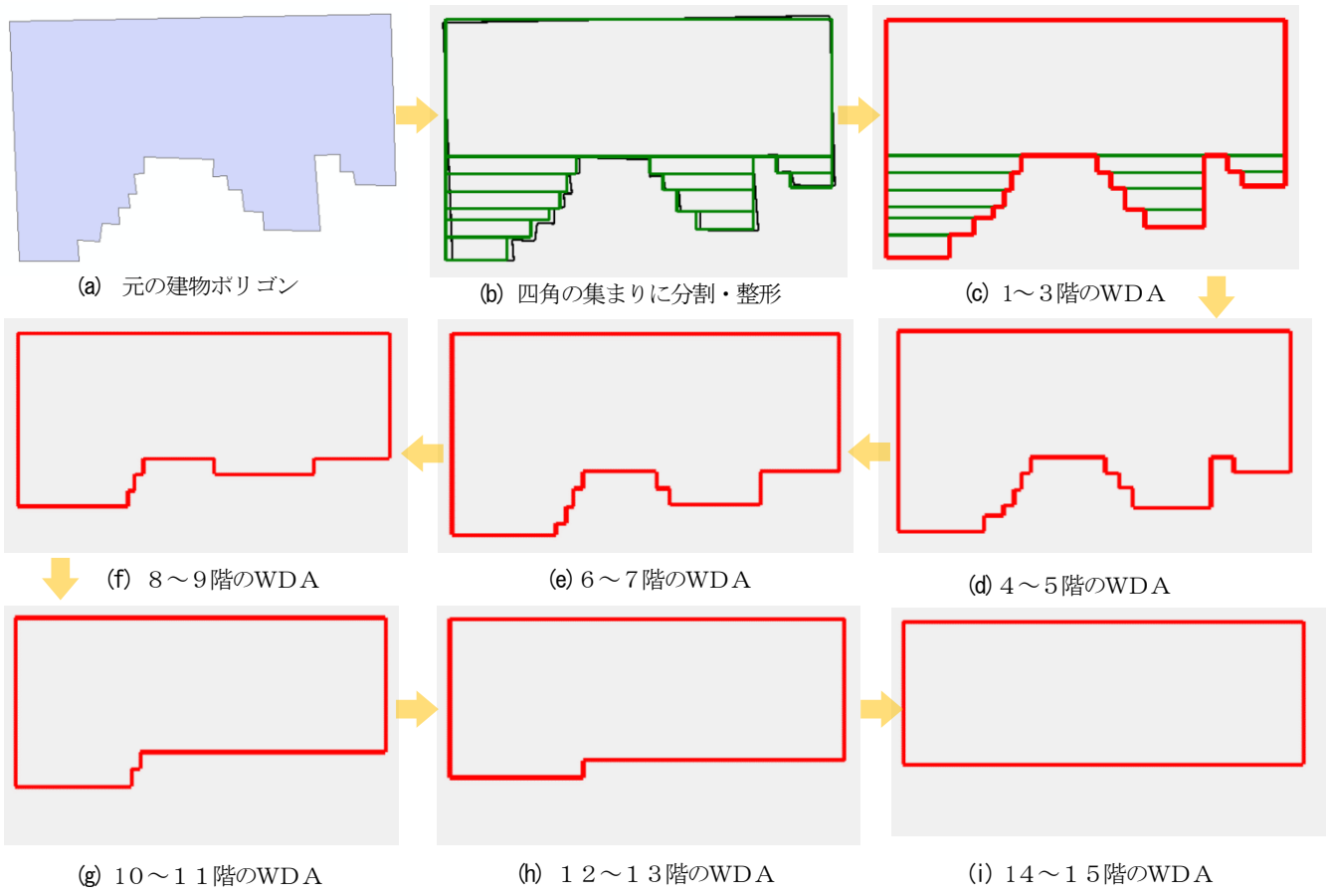


図-4 ポリゴン分割，四角形整形と直交化，各階における WDA(Windows and Doors Available wall)の変化

4. まとめ

本研究では，建物ポリゴンを四角の集まりまで分割し，分割四角に異なる階数を与え，階段状建物モデルを自動生成した．四角の集まりをツリー構造とみなし，四角の階層とそれに対応する階数に応じて，いわば「２次元でのＷＤＡの明確化」を行った．階段状建物は，屋上緑化やベランダに太陽光パネルを設置し，「スマートビルディング」の有力な候補となりうる．

謝辞：本研究は，JSPS 科研費の研究課題番号：20K03138 と 21K04405，23K04156 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*), Vol.27, pp.476-488, 2013.
2) 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，No.2，pp.I_167-I_174，2016.
3) 杉原健一，村瀬孝宏：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，土木情報学シンポジウム講演集，Vol.45，pp.101-104，2020.



図-5　本研究で自動生成した階段状ビルディング（１７階建て，k-th=７層と１５階建て，k-th=５層）