

持続可能な発展のための緑の3次元建物モデルの自動生成

杉原 健一・沈 振江

Automatic generation of 3D Green Buildings Models for Sustainable Development

Kenichi SUGIHARA and Zhen-jiang SHEN

Abstract: Developing alternative energy resources with high efficiency and low CO₂ emission have become of great importance with increasing concerns about global warming, and damage to environment. For facilitating public involvement in environmentally friendly urban planning, green buildings including 3D building models with effective solar PV(photovoltaic) generation are requested for feasible alternatives and less burdensome voluntary solutions. 3D building models topped with PV arrays for efficient PV generation are integrated into 3D city models, and utilized for 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. In this paper, a green building suitable for solar photovoltaic generation is proposed for sustainable development.

Keywords: 自動生成 (Automatic generation), 3次元モデル(3D model), C G (Computer Graphics), 緑の建物 (Green building), ソーラーパネル (Solar panel)

1. はじめに

近年、温室効果ガス排出量のさらなる増加により、温暖化が前例のないペースで進行し、異常気象を引き起こし、自然災害が増加している。こうした中、CO₂削減に効果のある「緑の建築」（「持続可能な建物」、「環境建築物」）や効率よく太陽光発電を行える「ソーラーハウス」に人々の関心が集まっている。こうした逼迫した地球環境問題に対応するため、再生可能エネルギーを導入する「創エネ」で低炭素型の都市を構築することが急務である。このとき、そこで、街区の3Dモデルを中心とする「3次元都市モデル」（図-1右参照）は、「太陽光発電に適したまちづくり」や「自然と共生するまちづくり」等の環境まちづくりに対して合意形成を図るための住民

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。

特に、次の世代に地球温暖化による気象災害などの危険性の無い安心できる自然環境を引き継ぐためには、「環境共生型まちづくり」を進める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とされる（国土技術政策総合研究所、2008）。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

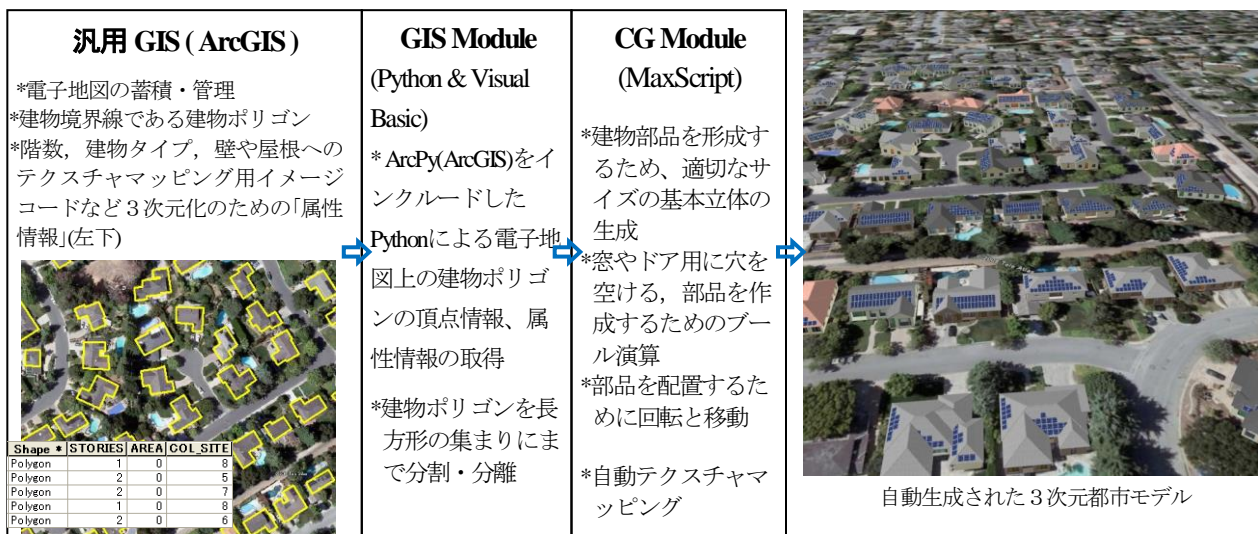


図-1 自動生成システムの構成と3Dモデルの自動生成のプロセス

不可欠である。

そこで、「創エネ」を推進する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、「街区単位の整備案」の出来上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る。そのために、複数のまちづくり整備案の地図に基づく実際に出来上がるであろう姿に近い「整備案の3Dモデル」を構築する。ここで、太陽光発電に適した3次元建物モデルを構築するには、3次元CGソフトの主にCSG(Constructive Solid Geometry)というような手法を用いて、次に示す膨大な手順を経て、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開ける、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(Kenichi SUGIHARA, 2006, 2008, 2011)。本研究では、太陽光発電に適した建物の3Dモデルの自動生成を提案し、区画整理を行った街区単位で、太陽光発電の生産性がどのように向上するかを検証する。

2. 太陽光発電に適した建物と街区

2.1 街区の3Dモデルと太陽光発電面積の表示

太陽光パネルの実使用時の出力(発電電力)は、日射の強さ、設置条件(屋根の傾斜角と方位角、周辺環境)、地域差、及び温度条件により異なる。日本気象協会の1981年から2009年の29年間の観測データをもとにNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発機構)が全国日射関連データマップを整備しており、地点を指定すれば、マップより日照量を予測できる。本システムによって自動生成された街区の3Dモデルでは、太陽光パネルは南向きと東向きの屋根に設置している。もっとも日照量が大きくなるのはパネルが南向きであるが、東西向きのパネルも、南向きパネルの日照量の約85%であるとされる(SHARP)ので、東向き屋根にもパネルを設置した。図-2から図-4に「街区の3Dモデル」とその元とした電子地図、及び、平行光線である太陽光に対する「太陽光パネルの垂直成分」を表示したものを示す。図-2(a)(b)では、典型的な密集市街地の電子地図から本システムを用いて、3次元モデリング化した街区の3Dモデル、図-2(c)は仰角43度の仮想カメラで撮影した街区の3Dモデルの「正投影の投影図」である。この正投影の投影図は隣接する建物の影の影響など詳細なレベルで、日照の状況をシミュレーションすることができる。図-3(a)(b)は密集市街地を「区画整理した電子地図」から3次元モデリング化した街区の3Dモデル、図-3(c)は街区の3D



図-2 電子地図から自動生成した街区の3Dモデルと正投影した街区イメージ

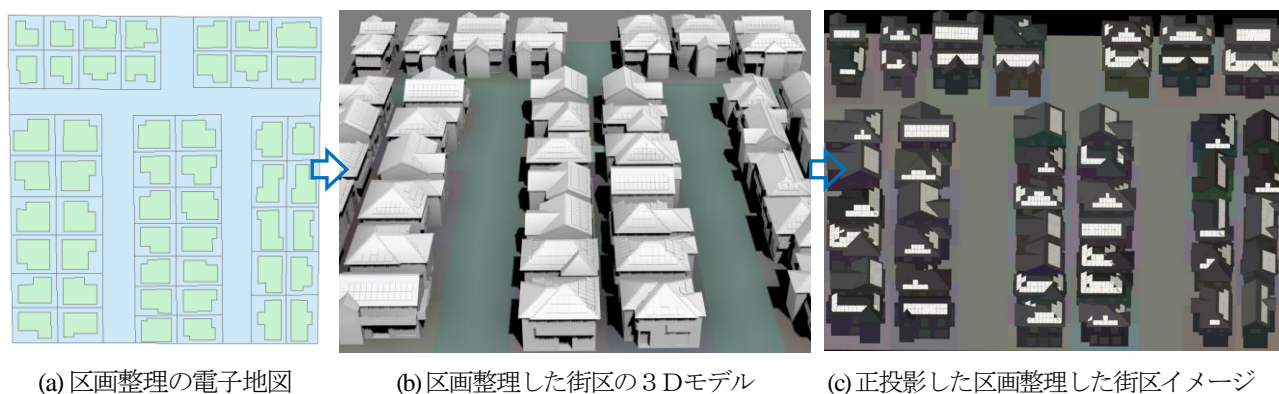


図-3 区画整理した地図から自動生成した街区の3Dモデルと正投影した街区イメージ

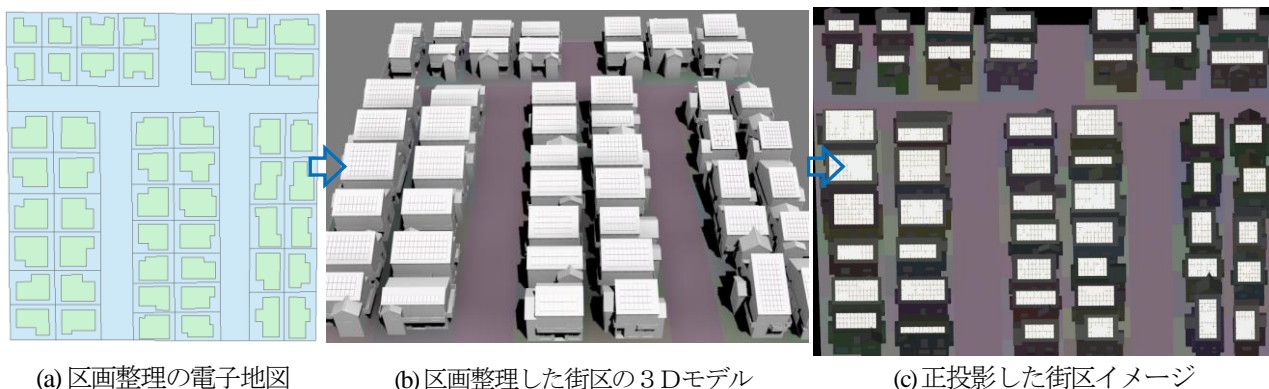


図-4 建物を両片流れ屋根とした街区の3Dモデルと正投影した街区イメージ

モデルの正投影の投影図である。

この例では、単に区画整理だけでは、太陽光発電を行う「太陽光に垂直なパネル面の垂直成分」を増やすことはできないことを図-3(c)は示している。そこで、太陽光を受けるパネルの面積を増やすために、東西方向に長い長方形の敷地だけでなく、南北方向に長い長方形の敷地に対しても、屋根頂線を東西方向にする、南向きの屋根の面積を大きくした「両片流れ屋根」を配置した街区の3Dモデルを図-4に示す。図-4(b)(c)の右部に南北方向に長い長方形の敷地に対して屋根頂線を東西方向にする、南向きの屋根の面積を大きくした「両片流れ屋根」を示す。

2.2 両片流れ屋根の3Dモデルの生成

両片流れ屋根は、片流れ屋根を組み合わせた建物と考える。図-5に、両片流れ屋根の平面図、正面図、側面図と透視投影図を示す。自動生成システムでは、「屋根を作る関数」に「屋根勾配 ($\tan \alpha$: α は屋根の傾き)」、長方形となる建物境界線の「短辺の長さ」、「長辺の長さ」と「長辺の傾き」、「屋根の中心位置」をパラメータとして与え、3Dモデルを生成する。

「両片流れ屋根」は、建物境界線である長方形を上側(北側)と下側(南側)の2枚の屋根で両片流れ屋根を形成するように、長方形の短辺上に分割線の端点をとって、

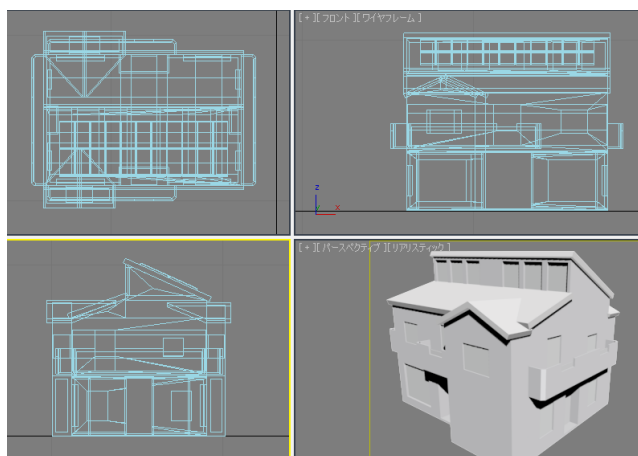


図-5 両片流れ屋根の3Dモデルの平面図、正面図、側面図と透視投影図

長方形を上下方向で分割する。「両片流れ屋根」を生成する関数には、その分割する割合をパラメータとして与える。南側の屋根の面積を大きくするには、下側(南側)の屋根の割合を大きくするよう設定すればよい。また、上側屋根と下側屋根の勾配をパラメータとして別々に与えている。各勾配と上側と下側の屋根幅に応じて、各片流れ屋根頂線の高さは決まるが、その高さの差がある一定の長さ以上であれば、屋根頂線の間に窓用の穴をブール演算を用いて開け、窓を設置する。

図-5で示す両片流れ屋根の3Dモデルでは、側面図が示すように、南側の屋根頂線が北側屋根の頂線より一定以上の高さが高いため、窓が設置され、この窓が設置されている様子を透視投影図で示している。また、図-6では、自動生成した両片流れ屋根の建物からなる街区の3Dモデルを東側から撮影したイメージを示す。

3. 寄せ棟屋根のモデリングとパネル設置

寄せ棟屋根は、4方向に勾配を持ち、長方形形状となる建物境界線の短辺(妻側)を底辺とする三角形の屋根と長方形の長辺(平側)を底辺とする台形の屋根からなる。本自動生成システムにおいて、寄せ棟屋根の形状を決めるパラメータとして、屋根の勾配 ($\tan \alpha$) と共に、長辺(平側)に対するトップの屋根頂線の割合 ($r_{hip,top}$) を与え、形状に自由度を持たせている。通常、丸瓦を配置し、トップの屋根頂線から枝分かれする屋根頂線から、妻側と平側へ下がる方向にふせる瓦を同じ枚数としている。

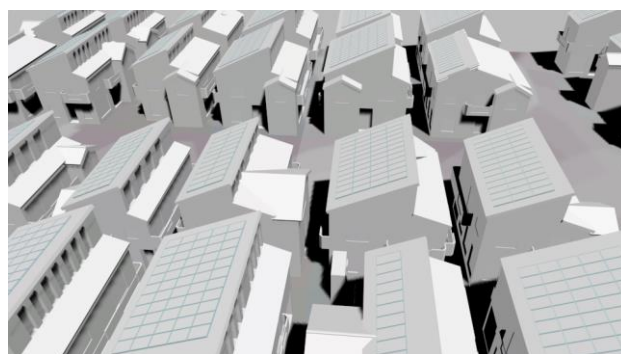


図-6 区画整理した地図から自動生成した両片流れ屋根の建物からなる街区の3Dモデル

そのため、屋根頂線の各点から短辺及び長辺までの距離は等しくなる。以下の式によって、図-7 下で示す台形屋根の側辺の傾き (θ) と三角形屋根の頂角の角度 (2θ) が決まる。

$$\tan \theta = \frac{0.5 \cdot (1 - r_{\text{hip_top}}) \cdot w_L}{\text{side23L}} = \frac{0.5 \cdot w_S}{\text{side23L}} = \frac{0.5 \cdot w_S}{0.5 \cdot w_S / \cos \alpha} = \cos \alpha$$

ここで、 w_L , w_S は建物境界線となる長方形の長辺の長さ、短辺の長さ、 side23L は台形屋根の高さとする。

通常、 $r_{\text{hip_top}} = \frac{w_L - w_S}{w_L}$ として、 $\tan \theta = \cos \alpha$ となる。

この寄せ棟屋根に対して、太陽光発電パネルを設置した屋根1面を図-8、寄せ棟屋根全体を図-9に示す。台形屋根にパネルを配置するとき、パネルの配列は、その台形の側辺の傾き(θ)に依存する。側辺の傾きが 45° 以下であれば、パネルは、最下段の列に対して、その1つ上の段の列は左右1つずつパネルの個数を減らすよう配置する。屋根勾配が小さく、なだらかな傾斜の屋根であれば、台形屋根の側辺の傾きが大きくなり、パネルは、最下段の列に対して、その1つ上の段の列は左右1個以上のパネルの個数を減らすよう配置する。

4. あとがき

GIS上で米国住宅街の衛星写真の上に建物境界線を描き、それに基づいて、本システムで自動生成した、ソ

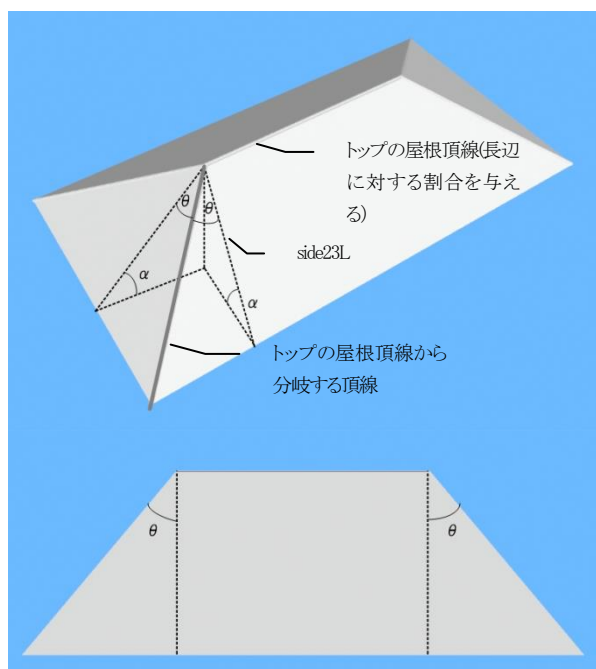


図-7 屋根の勾配(α)と台形屋根板の側辺の傾き(θ)の関係、下図:屋根を構成する台形屋根板の側辺の傾き(θ)

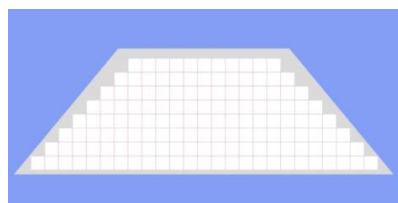


図-8 寄せ棟屋根を構成する台形屋根にソーラーパネルを配置

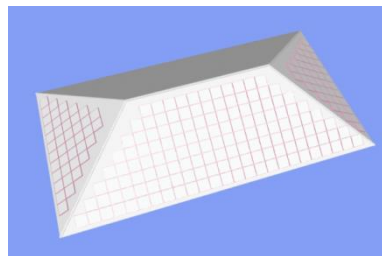


図-9 寄せ棟屋根の南向き屋根面と東西向き屋根面にソーラーパネルを配置

ーラーパネルを配置した3次元建物モデルを図-10に示す。街区レベルにおいて、敷地や建物を太陽光発電に適したかたちにして、再生可能エネルギーの利用を進めることが重要である。そのとき、出来あがるであろう街の姿を具体化する「街区の3Dモデル」は、建物の様々な形状や太陽光パネルの大きさや向き、屋上緑化、壁面緑化の可能性を検討・評価、あるいは、関係者で合意形成を図るときに非常に有効である。現状では、この街区レベルの3Dモデルを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、太陽光発電に適した建物の3Dモデルを自動生成するシステムを開発した。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。



図-10 本システムで自動生成した、屋根にソーラーパネルを配置した米国の住宅街の3次元都市モデル

謝辞

本研究は、公益財団法人 小川科学技術財団 特定研究助成を受けて遂行された。ここに謝意を表する。

参考文献

- 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イエーション～ 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
- 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.
- 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.
- SHARP の住宅用太陽光発電システム「サンビスタ」のオフィシャルサイト: <http://www.sharp.co.jp/sunvista>