

建物屋根形状の簡易判読・自動生成システムの開発

天野 貴文¹・吉川 眞²

¹正会員 修(工) 大阪工業大学大学院工学研究科都市デザイン工学専攻
(〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1, E-mail: amano@civil.oit.ac.jp)

²正会員 工博 大阪工業大学工学部都市デザイン工学科
(〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1, E-mail: yoshikawa@civil.oit.ac.jp)

本研究は、デジタルシティ構築のために、DSMデータを用いて屋根形状の判読、および判読結果から屋根付き3次元建物モデルの自動生成を試行したものである。まず、DSMから方位角と傾斜度を求め、建物外形線から生成した仮想屋根面に含まれるグリッドを集計して傾斜屋根を判定する。続いて、傾斜屋根ではない建物に対して陸屋根の判定を実施した。さらに、判定結果と傾斜度、高さの最頻値などを用い、3次元建物モデルの自動生成をおこなった。テストデータへ適用した結果、解像度が1.0mの場合の適中率は84.6%であったが、解像度が0.5mの場合にはほぼ100%となった。なお、大阪市の実データへの適用結果では、適中率は低く、DSMを生成する基礎データの取得間隔が1.0m程度は必要であることがわかった。

キーワード: 地理情報システム (GIS), 数値表層モデル (DSM), デジタルシティ, 屋根形状判読, 景観シミュレーション

1. はじめに

近年、景観シミュレーションの分野においてDSM (Digital Surface Model) データの利用が一般化しつつある。DSMデータを用いることにより、効率的に3次元基盤地図を作成することができ、短時間で景観シミュレーションが可能になるためである。

現実空間に存在する都市を3次元CGとしてモデル化したものをデジタルシティと呼ぶが¹⁾、DSMデータはデジタルシティを構築する上でも重要な地理空間データとなりつつある。このデジタルシティの構築において、最も重要な景観要素となるものはもちろん主対象であるが、対象場に存在する建物は主対象の次に重要な景観要素となる。すなわち、建物形状の再現性が景観シミュレーションの完成度を左右するといっても過言ではない。しかしながら、対象場に存在する建物モデルのすべてを詳細に再現する必要はなく、その景観的な重要度に応じてモデリングの詳細度 (LOD: Level of Detail) を分けることで、より効率的な景観シミュレーションが可能になる。

これまで景観シミュレーションでは、景観的重要度の低い建物モデルは建物外形線をそのまま上空に押し出した多角柱モデルで再現されてきた。ここ最近の研究例を挙げると、神戸での景観分析²⁾や姫路城の景観分析³⁾、

篠山市の山並み景観の分析⁴⁾、嵐山の景観構造分析⁵⁾などがあり、これらの研究はいずれも明確な主対象があり、建物外形線を用いて建物高さを設定した多角柱モデルからDSMデータを構築し、可視・不可視分析へと展開して景観シミュレーションを実施しているという共通点がある。明確な主対象がある景観シミュレーションの場合、対象場の建物は多角柱モデルでかつワイヤーフレーム表示などにすることで、主対象をより引き立てることができる。一方、主対象が地域などの面的広がり建物群などで構成される場合、建物を景観的重要度が低いことやモデル構築の手間を理由に多角柱モデルで再現すると、たとえば伝統的建造物群保存地区での景観シミュレーションを想定した場合には、同地区内に近代的ビルディングが混在するような錯覚を与えることになり、景観シミュレーションの蓋然性が疑われることになる。そこで、地理空間データ、とくにDSMデータから屋根形状を判読し、3次元建物モデルを生成することで対象場における景観シミュレーションの効率化が図れるのではないかと考えた。

地理空間情報から屋根形状を判読する方法としては、航空写真のステレオ処理から得たDSMデータを用いて直接屋根形状を生成する方法⁶⁾や、航空レーザ測量データの1つであるLIDAR (Light Detection and Ranging) データを用いて、代表的な屋根形状別に設定されたパラメー

タ群の適合度から屋根形状を判定する方法⁷⁾などが試みられている。

本研究では、景観シミュレーションの効率性と再現性を向上させるため、今後主流となるであろう正規化されたDSMデータから屋根形状を判読するための簡易な手法を開発するとともに、デジタルシティ構築の効率化を目指し、判読結果から屋根付き建物の3次元CGモデルの自動生成を試みている。

2. 研究の方法

(1) 研究対象地と使用データ

本研究の研究対象地には大阪市旭区の一部を設定し、同地域のDSMデータおよび屋根形状判読の適中率判定用DSMデータを構築した。

使用したデータは、大阪市のDMデータ（平成11～12年調製，財団法人大阪市都市工学情報センター発行）および大阪市のLIDARデータ（平成13年5月撮影，データ取得間隔3～4m，株式会社パスコ発行）である。屋根形状の判読に利用したDSMデータは，このLIDARデータからTINを経由して解像度1.0mのグリッドデータに変換したものをを用いた。

建物屋根形状の簡易判読および自動生成のためのシステム開発に用いたGISパッケージはSIS MapModeler 6.2であり，GISLinkによるカスタマイズプログラムを開発して屋根形状の判読，並びに3次元建物モデルの自動生成をおこなった。

(2) 屋根形状判読フロー

屋根形状の判読は，1) 寄棟屋根，2) 方形屋根，3) 切妻屋根，4) 陸屋根，と屋根構成面の多い屋根形状の順におこなう。屋根形状別の判読手法を以降に記す。また，屋根形状判定フローを図-1に示す。

a) 寄棟屋根

屋根形状の判定では，まず寄棟モデルを仮に設定し，5寸勾配の仮想屋根面を設置する。各屋根面に含まれる方位角グリッドを取得後，それぞれ軒側に対し直角方向に傾斜するグリッドを集計し，寄棟屋根であるか否かを決定する。傾斜屋根の判定式を式(1)に示す。

$$iGva/iGv \geq T_s \quad (1)$$

ここに， $iGva$ ： i 番目の仮想屋根面に含まれる軒側に傾斜するグリッド数， iGv ： i 番目の仮想屋根面に含まれるグリッド数， T_s ：しきい値 (=0.5)，である。

軒側に傾斜するグリッドの取得要件は，建物外形線の長辺の方位角を基に仮想屋根面の傾斜方向を求め，傾斜

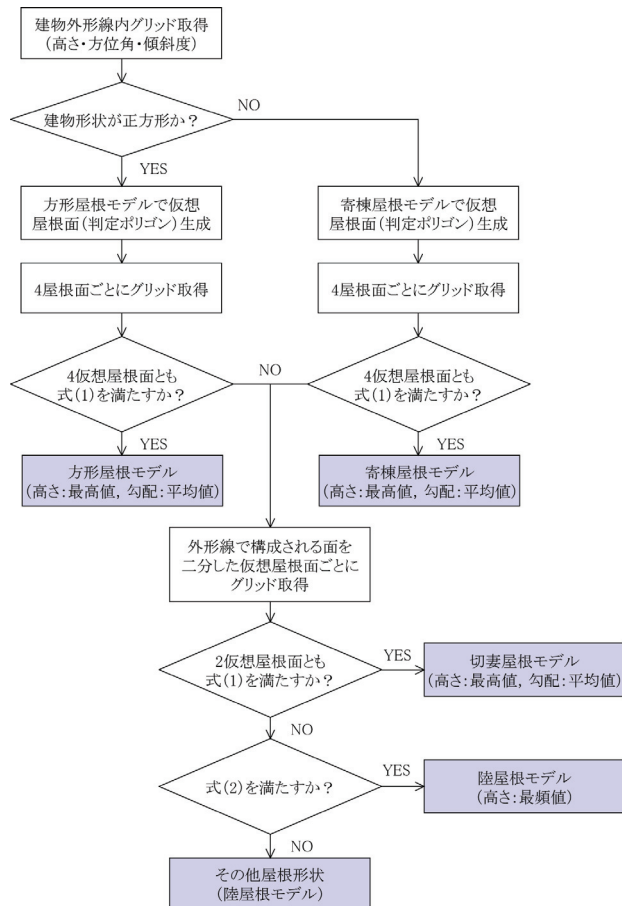


図-1 屋根形状判読フロー

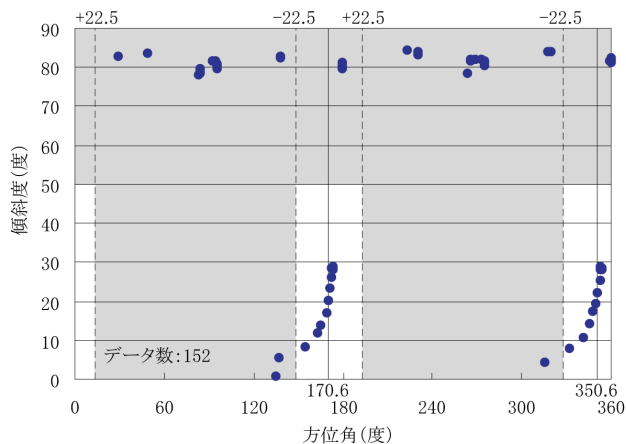


図-2 切妻屋根に含まれる方位角・傾斜度グリッドの集計結果 (非着色部が軒側に傾斜していると判定されるエリア)

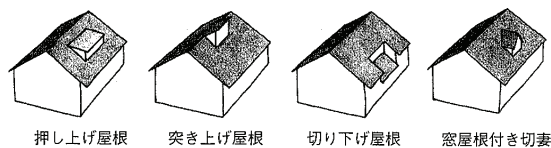


図-3 特殊な屋根形状の例⁸⁾

方向に対し経験的に設定した±22.5度に含まれるグリッドとしている。図-2は切妻屋根の例で、建物外形線に含まれる方位角と傾斜度をグラフにプロットしたものである。軒の方向は170.6度と350.6度であり、同方向にグリッドが集中していることがわかる。ここで、148.1〜193.1度、および328.1〜13.1度に含まれるグリッド数を集計し、傾斜度が50度を超えるグリッドを除いた上（後述）、式（1）を満たすものを傾斜屋根と判定している。なお、屋根勾配は集計したグリッドの最頻値とし、各仮想屋根面の最頻値の平均値としている。

傾斜屋根には図-3に示すような特殊な屋根形状が多く、全体的な傾向を把握できていないこと、および簡単のためしきい値を50%と設定した。また、いずれの判定においても尺勾配（45度）を超えるような傾斜度のグリッド（本研究では50度と設定）も計算からは除外している。これは陸屋根の場合はパラペットなどの影響を、傾斜屋根の場合は図-3で示した押し上げ屋根などの垂直部分の影響を除外するため設定した。

b) 方形屋根

寄棟屋根に該当する建物のうち、外形線が正方形のものは方形屋根とした。正方形の判定には、4辺の平均値を取得し、各辺の残差が0.5m以内であれば正方形であるとした。

c) 切妻屋根

寄棟・方形屋根に該当しない建物は切妻屋根に仮設定する。長辺または短辺方向に棟線を配置し、外形線と棟線から2枚の仮想屋根面を生成し、各屋根面に含まれる方位角グリッドを取得後、それぞれ軒側に対し直角方向に傾斜するグリッドを集計し、式（1）を満たす場合は切妻屋根と確定する。

d) 陸屋根

ここまでで傾斜屋根に分類されなかった建物については、最後に陸屋根の判定を実施する。最後に判定を実施する理由は、超緩勾配（1寸未満）の傾斜屋根を判読するためである。陸屋根の判定式を式（2）に示す。

$$Gg / G \geq T_f \quad (2)$$

ここに、 Gg ：屋根面に含まれる傾斜角が1寸勾配未満のグリッド数、 G ：屋根面に含まれるグリッド数、 T_f ：しきい値（=0.5）、である。

判読対象建物の外形線内に含まれる傾斜度のグリッド値のうち、50%以上が1寸勾配（5.7度）未満の場合は陸屋根と判定する。1寸勾配は陸屋根に付けられる排水勾配や付属物の影響を除去するために設定している。

(3) 3次元建物モデルの生成

屋根形状を判読した結果（屋根形状種別、建物高さの

最高値・最頻値、傾斜角の最頻値・平均値）を用いて、GIS上で3次元建物モデルを生成する。壁面は仮想屋根面生成の際、屋根面を構成する各辺に壁の有無を表すフラグを設け、フラグがある辺については、辺から地上に向け垂直に四角形の面を生成する。

屋根形状が判定できなかった建物については、陸屋根として建物モデルを生成する。

3. 屋根形状の簡易判読とモデリング

(1) テストデータ（解像度：1.0m）への適用

a) DSMデータの構築

大阪市のDMデータから任意の1km四方を切り出し、建物外形線のうち建物属性が普通建物か堅ろう建物のいずれかで、かつ矩形である建物を屋根形状の判読対象建物とした。図-4に示す着色した建物が判読対象建物であり、建物数は1,170件であった。この建物群に対し、陸屋根、切妻屋根、寄棟屋根を乱数で1/3ずつ設定し、切妻屋根のみ桁行方向を長辺側と短辺側でさらに半数ずつ設定した（図-5）。設定した屋根形状をもとに、最高高さ20m、屋根勾配を5寸勾配として3次元屋根モデルを生成した後、データ取得間隔を1.0mとしてDSMデータに変換したものをテストデータとして利用した（図-6）。

b) 屋根形状の簡易判読結果

テストデータに対する屋根形状の簡易判読結果を分割表で表現した結果を表-1に示す。適中率は84.6%となった。なお、対象建物のうち、158件は判読不能となった。



図-4 試行対象地域（1km四方）のDMデータ
（判読対象建物に着色）

これらの建物は面積が50㎡未満であるものがほとんどで（96.8%），計算対象グリッドが存在しないためであり，評価からは除外している．逆に面積100㎡以上の建物はすべて正しく判読できている．

判読結果を見ると，「その他」と判読された建物についても，その面積が小さい場合がほとんどであり，

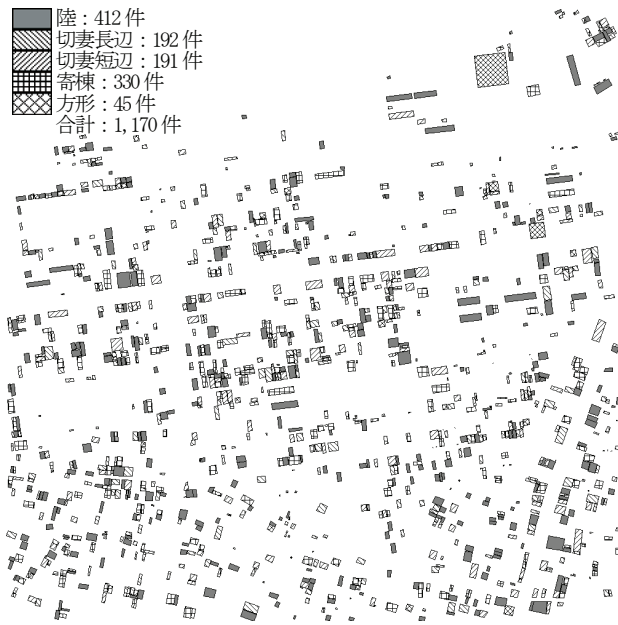


図-5 テストデータとして設定した屋根配置図



図-6 テストデータ（解像度：1.0m）

表-1 テストデータ（解像度：1.0m，判読不能分を除く）の簡易判読結果

		簡易判読結果						合計
		陸	切妻長辺	切妻短辺	寄棟	方形	その他	
テストデータ	陸	358	0	0	0	0	3	361
	切妻長辺	3	149	0	0	0	12	164
	切妻短辺	0	0	165	0	0	5	170
	寄棟	1	72	0	164	0	52	289
	方形	0	0	0	0	20	8	28
	その他	0	0	0	0	0	0	0
	合計	362	221	165	164	20	80	1,012

86.3%が50㎡未満であった．隣接建物との間隔が小さい場合や長辺と短辺の長さの差が大きい寄棟屋根の場合に適中率が下がった．また，正方形に近い矩形であるほど適中率は上がる傾向が見られた．

(2) 大阪市での適用

a) DSMデータの構築

次に，実際の都市での適用として図-7に示す大阪市のDSMデータを用いて屋根形状の簡易判読をおこなった．判読対象建物はテストデータと同一とした．結果検証のため，事前に現地踏査と航空写真により実際の屋根形状を確認した．現地踏査の結果から，建物外形線の場所に建物が存在しないなどDSMデータと現実とが一致しない建物，および面積が50㎡未満の建物，判読不能分を除外した結果，対象建物数は688件となった．なお，現地調査による「その他」とは，マンサードなどの屋根形状のほか，総描による複数建物の存在などが該当する．

b) 屋根形状の簡易判読結果

屋根形状を簡易判読した結果を分割表で表現した結果を表-2に示す．適中率は27.8%と非常に低い結果となった．テストデータでは建物部分の高さデータ取得間隔を1.0mに設定しているが，大阪市のDSMデータはデータ取得間隔が3～4mであり，これを解像度1.0mに補間して用いている点が判読精度の低い理由であると思われる．



図-7 大阪市DSMデータ（解像度：1.0m）

表-2 大阪市DSMデータ（解像度：1.0m，建物面積50㎡以上，判読不能分を除く）の簡易判読結果

		簡易判読結果						合計
		陸	切妻長辺	切妻短辺	寄棟	方形	その他	
現地調査結果	陸	99	2	5	0	0	151	257
	切妻長辺	6	33	3	0	0	148	190
	切妻短辺	4	4	10	0	0	120	138
	寄棟	2	3	0	4	0	41	50
	方形	0	1	0	0	0	5	6
	その他	1	1	0	0	0	45	47
	合計	112	44	18	4	0	510	688

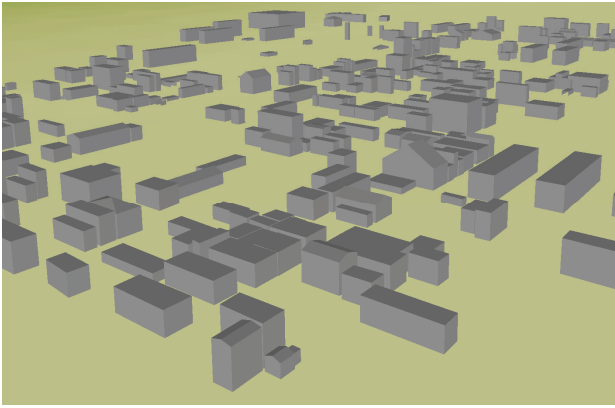


図-8 屋根形状付き3次元建物モデルの自動生成結果



図-9 テストデータ (解像度 : 0.5m)

c) 3次元建物モデルの生成

屋根形状判読時に取得した建物高さの最高値および最頻値、屋根勾配の最頻値と平均値、屋根種別の情報を基に、3次元建物モデルを自動生成した結果を図-8に示す。

(3) テストデータ (解像度 : 0.5m) への適用

a) DSMデータの構築

解像度1.0mのDSMデータで屋根形状を判読した結果、適中率は84.6%であったが、解像度を高めることで判読精度が上がることは想像に難くない。そこで、図-9に示す建物屋根部分のデータ取得間隔を0.5mに設定した解像度0.5mのDSMデータを作成し、再度簡易判読を試みた。

b) 屋根形状の簡易判読結果

解像度0.5mのテストデータに対する屋根形状の簡易判読結果を分割表で表現した結果を表-3に示す。適中率は95.0%と向上した。なお、ここで「その他」と判定された建物はすべて面積が10㎡以下であった。また、現実にはあまり多くないが、短辺側の幅が非常に小さい寄棟屋根は切妻屋根と誤判定するケースが多く見受けられた。ここで、建物面積が50㎡以上の建物だけに着目し、再度分割表を作成した結果を表-4に示す。結果、適中率は99.9%となった。なお、1件のみ陸屋根をその他と判定しているが、これは建物外形線が他の建物外形線を含む

表-3 テストデータ (解像度 : 0.5m) の簡易判読結果

		簡易判読結果						合計
		陸	切妻長辺	切妻短辺	寄棟	方形	その他	
テストデータ	陸	399	0	0	0	0	13	412
	切妻長辺	1	188	0	0	0	3	192
	切妻短辺	0	0	184	0	0	7	191
	寄棟	1	12	0	308	0	9	330
	方形	0	0	0	0	32	13	45
	その他	0	0	0	0	0	0	0
合計		401	200	184	308	32	45	1,170

表-4 テストデータ (解像度 : 0.5m, 建物面積50㎡以上) の簡易判読結果

		簡易判読結果						合計
		陸	切妻長辺	切妻短辺	寄棟	方形	その他	
テストデータ	陸	263	0	0	0	0	1	264
	切妻長辺	0	111	0	0	0	0	111
	切妻短辺	0	0	125	0	0	0	125
	寄棟	0	0	0	220	0	0	220
	方形	0	0	0	0	19	0	19
	その他	0	0	0	0	0	0	0
合計		401	263	111	125	220	19	739

しているため、判定できなかったものであり、DMデータ側のエラーであった。したがって、DM側のエラーを除外すると、建物面積が50㎡以上の場合の屋根形状簡易判読の適中率は100%になると考えられる。

4. おわりに

本研究では、DSMデータから簡易に屋根形状を把握する手法を開発すると共に、デジタルシティ構築のために屋根形状を含めた3次元建物モデルを生成するシステムを開発した。

テストデータと実際のDSMデータに簡易判読手法を適用した結果、解像度が1.0mのDSMデータであれば適中率84.6%、解像度が0.5mであれば適中率95.0%で屋根形状を判読できることを示した。しかしながら、オリジナルのデータ取得間隔がそれよりも粗いデータから作成したDSMデータでは判読精度は低く、実用的ではないこともわかった。

今後、より高解像度のLIDARデータやDSMデータを有する地域への適用を試み、簡易判読手法の適用可能性について検証するとともに、適中率の向上と景観シミュレーションの効率化を目指したい。

謝辞：本研究の既存建物の屋根形状調査では、大阪工業大学空間デザイン研究室の石田圭太君に多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 吉川眞：デジタルシティとVR，都市計画，No. 56(6)，pp. 47-50，2007
- 2) 竹内陽，吉川眞，田中一成：神戸における景観分析，地理情報システム学会講演論文集，Vol. 17，pp. 587-590，2008
- 3) 織野祥徳，吉川眞，田中一成：城郭都市「姫路」における景観分析，地理情報システム学会講演論文集，Vol. 17，pp. 45-48，2008
- 4) 石橋一真，吉川眞，田中一成：空間情報技術を用いた山並み景観の分析，地理情報システム学会講演論文集，Vol. 16，pp. 367-370，2007
- 5) 藤井義令，吉川眞，田中一成：「嵐山」の景観構造，地理情報システム学会講演論文集，Vol. 15，pp. 429-432，2006
- 6) Haala, N. and Brenner, C.: Interpretation of Urban Surface Models Using 2D Building Information, *Computer Vision and Image Understandings*, Vol.72(2), pp.204-214, 1998
- 7) 大佛俊泰，小林史明：航空機レーザ計測データを用いた建物屋根形状の判別，2008年日本建築学会学術講演梗概集 F-1都市計画 建築経済・住宅問題，pp. 899-900，2008
- 8) 宮野秋彦，永谷洋司，日本屋根経済新聞社：新版 屋根の知識，日本屋根経済新聞社，2003