

# 3次元地図情報整備に関する検討 —LiDAR センサとオブリークカメラにより整備した 3次元地理空間情報の検証—

実施期間  
基本図情報部地図情報技術開発室

令和3年度～令和4年度  
佐々木 励起 稲澤 保行  
新藤 昭彦 岸本 紀子

## 1. はじめに

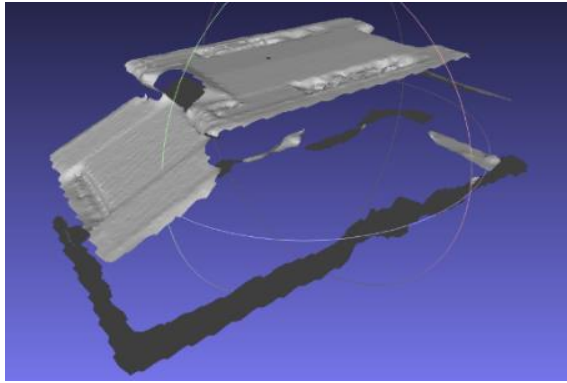
政府はサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立させる人間中心の社会「Society5.0」の実現を目指しており、国土地理院ではデジタルツインの基盤となる3次元地図を効率的に整備するための各種検討を進めている。防災・減災分野においても、国土地理院では、「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」（令和2年12月閣議決定）における取組として、被災状況をそのまま3次元で詳細にデジタル化することを可能とする「測量用航空機による迅速な被災状況把握の能力強化」を進めているところである。

こうした背景を踏まえ、国土地理院では令和3年度にLiDAR センサとオブリークカメラ（直下視画像と斜方視画像を同時に取得することができる光学センサ）を備えた「CityMapper-2（以下「CM-2」という。）」による試験計測を実施した。CM-2によるレーザ計測は、飛行方向と直行する方向にレーザ照射を行う従来計測と異なり、地表面に円を描くようにレーザを照射する特徴があり、また、この計測では高いコース間重複率で行われた。その後、Leica Geosystems社製HxMapワークステーション（以下「HxMap」という。）を用いて3次元建物モデルを自動作成した。CM-2によるレーザ計測では、高精細なデータが取得されたが、HxMapによる3次元建物モデルの自動作成では、屋根と地表面との間の空間的特徴は考慮されなかった（下野ほか、2021）。また、屋根形状の抽出にも課題がみられた。そこで、CM-2の計測によって得られた3次元点群データを利用し、建物の壁面や、より正確な屋根形状を抽出することができないか検討し、より再現度の高い3次元建物モデルの作成を試行した。

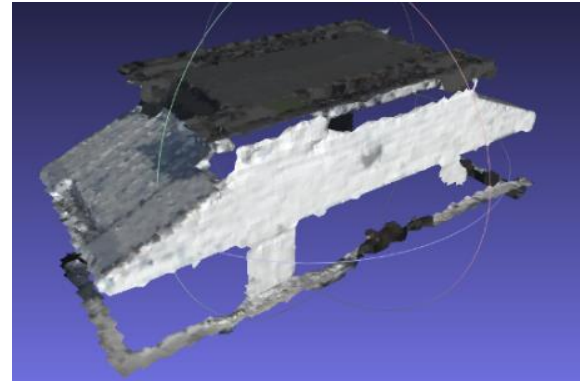
## 2. 3次元点群データによる3次元建物モデル壁面の自動作成試行

HxMapによる3次元建物モデルの自動作成では、抽出した屋根の外縁から地表面に向けて垂直壁面を生成する。この処理では、屋根と地表面との間における空間的特徴は考慮されないため、CM-2で計測された建物壁面のレーザ計測点群は3次元建物モデルの作成に利用されず、3次元建物モデルは多角柱に単純化された表現となる。

そこで、CM-2によるレーザ計測で得られた建物壁面の情報を従来のレーザ計測と比較するために、3次元建物モデルを作成した（図-1 a., b.）。3次元点群データは、平成21年計測の公共測量成果と、令和3年にCM-2により計測したものを併用し、不整三角網を発生させて3次元建物モデルを作成した。平成21年のデータと比べて、令和3年計測のデータでは、建物の壁面をレーザ計測することができ、屋根の3次元形状だけではなく、壁面形状を再現した3次元建物モデルを作成することができた。しかしながら、建物のオーバーハング部はレーザ計測ができておらず、モデルの作成ができなかった。



a. 平成21年計測データによるモデル



b. 令和3年計測データによるモデル

図-1 3次元建物モデルの壁面の比較

### 3. 3次元建物モデルの自動作成試行

#### 3.1 屋根形状の自動抽出試行と評価

##### 3.1.1 屋根形状の自動抽出

HxMapによる3次元建物モデルの自動作成では、抽出されるべき屋根形状が抽出されず、反対に抽出されるべきでない屋根形状が抽出される事例が見られた。そこで、CM-2で計測した3次元点群データを使用し、HxMapと異なる方法でLOD2相当の3次元建物モデルの自動作成を試行した。対象地域は、墨田区横網1, 2丁目と石原1~3丁目および亀沢1~3丁目である。なお、モデルの自動作成にはESRI社が提供する屋根形状抽出ツールおよび3次元建物モデル作成ツールを用いた。

この節では、屋根形状の自動抽出に注目する。数値表層モデル (DSM) と数値標高モデル (DEM) の差分である比高データのメッシュサイズを変えて屋根形状の自動抽出を試行した。また、メッシュサイズが小さいと比高データに不適當な凹凸が発生するため、比高データにおける凹凸を埋める平滑化処理の有無についても検証を行った。

##### 3.1.2 自動抽出された屋根形状の適合率、再現率及びF値による評価

比高データのメッシュサイズを 0.1m, 0.2m, 0.5m, 1m と変更し、さらに平滑化の有無を変更して屋根形状を自動抽出し、それぞれについて適合率、再現率、F 値を計算した (表-1)。正解データはレーザ計測と同時撮影されたオルソ画像を用い、それぞれの値の算出方法は表-1 の補足に示す通りである。

まず、比高データの平滑化を行わない場合、メッシュサイズが小さいほど適合率は増加するが、再現率は減少した。平滑化を行わない場合、建物縁辺部の比高データにおいて不適當な凹凸が発生し、凹凸のある箇所では屋根形状の抽出が行われなかった。F 値についてもおおむねメッシュサイズが小さいほど値が増加するが、再現率が影響し、0.1m メッシュより 0.2m メッシュの F 値が大きかった。

比高データの平滑化を行うと、植生等の平滑化により不適當な屋根形状が自動抽出され、適合率が減少した。一方で、建物縁辺部の凹凸が平滑化されたことで建物の形状をより再現することができ、再現率が増加した。平滑化を行わない場合と比較して、メッシュサイズが小さい場合では、平滑化による再現率の増加がみられ、これにより F 値の増加がみられた。したがって、メッシュサイズをより小さくし、比高データの平滑化を行うことで、より正確に屋根形状を再現できるといえる。

表-1 条件を変えて自動抽出した屋根形状の適合率・再現率・F値の比較

平滑化なし				平滑化あり				補足					
メッシュサイズ	適合率	再現率	F値	メッシュサイズ	適合率	再現率	F値	自動作成屋根形状	適合率 = $\frac{TP}{TP+FP}$				
1m	87.6%	66.2%	75.4%	1m	83.0%	68.3%	74.9%	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 5px;">正解屋根形状</div> <table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 5px;">TP</td> <td style="padding: 5px;">FP</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">FN</td> <td style="padding: 5px;">TN</td> </tr> </table> </div>	TP	FP	FN	TN	$\text{再現率} = \frac{TP}{TP+FN}$ $\text{F値} = \frac{2 \cdot \text{適合率} \cdot \text{再現率}}{\text{適合率} + \text{再現率}}$
TP	FP												
FN	TN												
0.5m	91.9%	65.2%	76.3%	0.5m	86.1%	67.8%	75.8%						
0.2m	95.8%	64.8%	77.3%	0.2m	89.9%	67.9%	77.4%						
0.1m	95.9%	64.5%	77.1%	0.1m	90.0%	68.0%	77.5%						

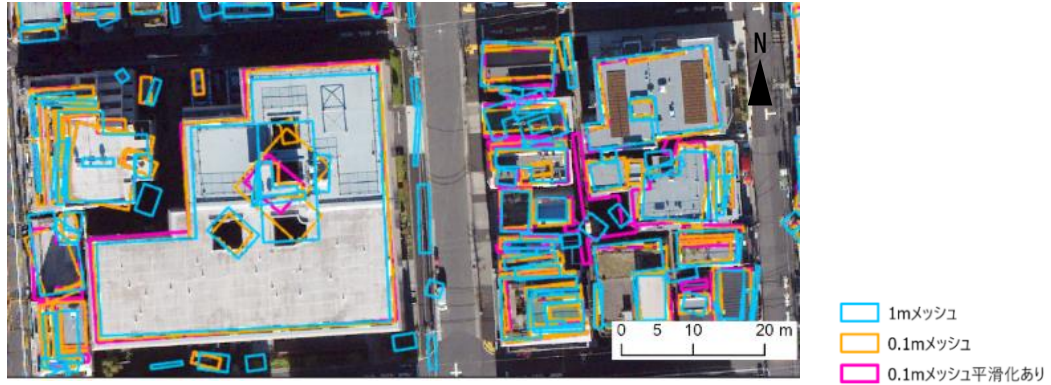


図-2 条件を変えて自動抽出した屋根形状の比較

また、令和3年度に HxMap によって自動抽出された3次元建物モデルの屋根形状について評価を行った。前述の屋根形状自動抽出試行とは異なり、HxMap では斜方視画像を利用した深度フィルタや、植生データを除去する NDVI フィルタが使用されていることもあり、適合率 90.8%に対して再現率は 93.3%と大幅に向上し、F値も 92.0%と良好な値であった。

屋根形状が正常に自動抽出されなかった事例として、屋根が網状の物で覆われているなど、3次元点群データの高さ情報が一定でない建物が挙げられる。また、NDVI フィルタを使用すると、樹木による遮蔽や、屋上緑化のある建物の屋根形状が抽出されなかった。反対に、屋根形状が誤って自動抽出された事例として、高架や橋梁、歩道橋といった建物以外の構造物や、自動車や鉄道といった移動体、NDVI フィルタで除去しきれなかった森林や植栽のほか、吹き抜けや建物同士の隙間においても屋根形状が自動抽出されてしまう事例が多かった。

### 3.2 3次元建物モデルの自動作成試行と評価

#### 3.2.1 3次元建物モデルの自動作成

3次元点群データを用いて、LOD2相当の3次元建物モデルの自動作成を試行し、HxMapによって自動作成された3次元建物モデルと比較を行った。屋根形状は、基盤地図情報の建築物の外周線ポリゴン、CM-2によってレーザ計測と同時撮影されたオルソ画像から屋根の外周線を図化したポリゴン、そして前節の自動抽出による屋根形状のポリゴンを使用した。それらと3次元点群データを組み合わせることによって、屋根の3次元形状を再現したLOD2相当の3次元建物モデルを自動作成した。

#### 3.2.2 自動作成された3次元建物モデルの評価

基盤地図情報の建物外周線ポリゴンを屋根形状として使用した3次元建物モデル(図-3 a.)では、測量により取得され正確さが担保されている基盤地図情報を用いるため、複数の建物が同一とみなされたり、建物が不適切に分割されたりすることが少ない。しかしながら、基盤地図情報のデータはレーザ計測時点より過去のデータであるため、一部建物の有無や高さデータに不整合が生じている。

CM-2 によってレーザ計測と同時に撮影されたオルソ画像から図化した屋根の外周線ポリゴンを屋根形状として使用した 3 次元建物モデル (図-3 b.) では、屋根形状が正確だが、建物壁面は屋根の外縁から地表面に下した垂直壁面となり、実際の壁面と異なることがある。単純な形状の陸屋根や切妻屋根、寄棟屋根では 3 次元形状を再現できた一方で、複雑な 3 次元形状の屋根の抽出は困難であり、不正確な 3 次元形状の屋根が作成された。なお、メッシュサイズの大きい比高データでは屋根の 3 次元形状が正確に作成されず、比高データが詳細であるほど屋根の 3 次元形状が正確に作成されることが確認できた。また、空中写真撮影のみを行った場合を想定して、この図化ポリゴンと過去の 3 次元点群データによる 3 次元建物モデルの自動作成も試行したが、こちらもレーザ計測と写真撮影の時期が異なるため、一部建物の有無や高さデータに不整合が生じることが確認できた。

続いて、前節の自動作成ポリゴンを使用した 3 次元建物モデル (図-3 c.) では、F 値が最も高かった 0.1m メッシュ・平滑化比高データによる自動抽出屋根形状を使用してモデルの自動作成を行った。この試行でも、単純な 3 次元形状の屋根を再現することができたが、複雑な 3 次元形状の屋根では再現が困難であった。また、傾斜のある 3 次元屋根形状は階段状に表現されている。

最後に、HxMap により自動作成された 3 次元建物モデル (図-3 d.) では、屋根形状の F 値も良好であり、建物が忠実に再現されているように見えるが、前述の手法と同様、建物のオーバーハング部等、壁面形状は再現されず、多角柱に単純化された表現となる点に留意が必要である。



a. 基盤地図情報の建物外周線ポリゴンによるモデル



b. オルソ画像図化ポリゴンによるモデル



c. 自動抽出屋根形状によるモデル



d. HxMap によるモデル

図-3 異なる屋根形状による 3 次元建物モデルの比較

### 3.2.3 斜方視画像によるテクスチャの貼り付け

CM-2による計測では、レーザ計測と同時にオブリークカメラによる斜方視画像を撮影した。この

斜方視画像を用いて、自動作成した3次元建物モデルに対して画像テクスチャを貼り付けた。画像の使用により、よりリアリティのある3次元建物モデルを再現できることが確認できた。



図-4 斜方視画像による画像テクスチャを貼り付けた3次元建物モデル

#### 4. まとめ

令和3年度に HxMap を用いて自動作成された3次元建物モデルでは、レーザ計測によって得られた建物の壁面情報が利用されず、また、屋根形状の精度に課題があったため、本稿では、建物の壁面情報と屋根形状に着目して、より再現度の高い3次元建物モデルの自動作成について検討した。

3次元点群データによる3次元建物モデル壁面の自動作成にあたって、従来の航空レーザ測量では、建物壁面にレーザが到達しないため計測できなかったが、令和3年度レーザ計測では、コース間重複率を公共測量における標準的な重複度（30%）より倍近く高くしたことに加え、CM-2の円を描くようなレーザ照射方法の効果により、建物壁面までレーザ計測ができており、これによって3次元建物モデルを作成する際に壁面形状の再現を行うことができた。

また、得られた3次元点群データから屋根形状の抽出を試行した。CM-2のレーザ計測によって得られた高精細な3次元点群データを活用し、メッシュサイズの小さい比高データを用いるほどより正確な屋根形状の抽出を行えることが確認できた。一方で、HxMapによる3次元建物モデルの自動作成は、NDVI フィルタを使用して植生の影響を排除し、モデルの作成に航空写真の深度を利用するなど、レーザ計測と同時に撮影された航空写真を援用している。特に、屋根形状の評価では、NDVI フィルタの有効性が示された。このため、レーザ計測と同時に直下視画像や斜方視画像を撮影することによって、相乗的に高い付加価値がもたらされることが示された。また、レーザ計測と同時期に撮影された航空写真を使用することにより、不整合のない3次元建物モデルを自動作成できるほか、オプリークカメラによる斜方視画像を使用すると、よりリアリティのある3次元建物モデルを作成できることを確認できた。

建物壁面の情報まで再現された3次元建物モデルを作成することで、河川氾濫時の建物の浸水状況や、地震時等の建物の倒壊状況の把握が可能となる。また、建築物のオーバーハング部の再現は、高架や橋梁のモデル作成への応用にも期待できる。このように、建物壁面情報のある3次元建物モデルの整備は、災害時の情報収集の迅速化に資すると言える。

#### 参考文献

下野隆洋, 石塚麻奈, 佐々木励起, 岸本紀子 (2021) : 3次元地図情報整備に関する検討 -LiDAR センサとオプリークカメラによる3次元地理空間情報の試行整備-, 令和3年度調査研究年報, 98-102.