応急仮設住宅団地を対象としたドローンを活用した敷地の自動モデリングに関する研究

Study on the Automatic Site Modeling Method Using a Drone for Emergency Temporary Housing Complex

○前田　隆成[*1]，大西　康伸[*2]
Ryusei MAEDA[*1] and Yasunobu ONISHI[*2]

*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生
Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.
*2熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士（学術）
Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

キーワード：UAV; BIM; 点群; 地図; 道路; クラスタ
Keywords: UAV; BIM; Point cloud; Map; Road; Cluster.

1. 研究の背景と目的

災害発生時、在住住居が全半壊した者に対して、応急仮設住宅（以下、仮設住宅）の迅速な供給が求められる。現状、災害発生後の計画段階において、地図や航空写真、現地調査から得た情報に基づき配置計画案の作成を行っている。しかし、地盤や道路の起伏、敷地内の既存樹木や工作物などの正確な形状（以下、敷地環境）の把握に時間を要する問題や、それらが正確に把握できないことからその後の配置計画時に手戻りが発生する問題がある。

福岡らの研究 [1)]では、配置案作成の期間の短縮を目的とし、BIM ソフトを利用した仮設住宅の自動配置プログラムを開発した。しかし、自動配置プログラムを適用する敷地の BIM モデルは設計者が手作業で作成する必要があり、敷地及びその周辺の迅速なデジタル化が求められる。近年では、ドローンを用いて敷地の上空から撮影した画像データから3次元点群を短時間で作成でき、敷地環境を素早くデジタル化できるようになっている。しかし、点群のままでは視覚的な検討にしか用いることができないため、計画敷地の地盤面や道路など自動配置プログラムが必要とする BIM オブジェクトへの変換が必要である。そこで本研究では、1）ドローンで撮影した画像に基づき生成した点群の自動分離、2）処理負荷軽減のための点群の自動軽量化、3）計画敷地の地盤面や道路の BIM モデルの自動作成、の3点を目的としてプログラムの開発を行う。

2. 敷地面及び道路面の自動モデリング手法の提案

本研究では点群を分離した際の各点群について図1に示す語句を用いる。本研究は配置計画を行う際に用いる「敷地面」と「道路面」を自動で BIM モデル化し、BIM モデル化しなくとも配置計画を検討する上で十分に利用できる樹木や工作物等は点群のまま表示する方針とする。モデリングの際は、モデルの平面的な輪郭は 2DCAD データ（敷地境界線、道路境界線）から、モデルを作成する際の高さ情報は点群から取得し、「敷地面」、「道路面」モデルを自動作成する。

以上の方針で、「敷地面」、「道路面」、「周辺環境及び敷地と道路点景」の要素ごとに点群を分離し、「敷地面」、「道路面」のモデル化を行う4つのプログラムの開発を行う（表1）。

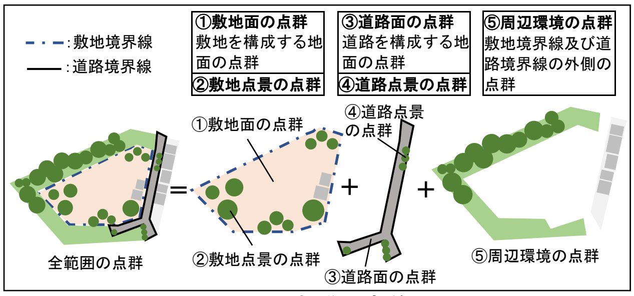

図１　点群の定義

表１　開発したプログラムの内容

	プログラム名	内容
1	境界線頂点座標取得プログラム	BIM ツール上の敷地境界線と道路境界線の頂点座標を自動取得する。
2	点群分離プログラム	全範囲の点群を「敷地面」の点群、「道路面」の点群、「周辺環境及び敷地と道路点景」の点群の3種類の点群に自動分離する。
3	点群軽量化プログラム	処理負荷軽減のために「敷地面」の点群と「道路面」の点群の点群数を自動削減する。
4	モデリングプログラム	「BIM ツール上の敷地境界線」と「敷地面」の点群から「敷地面」を、「BIM ツール上の道路境界線」と「道路面」の点群から「道路面」を自動でモデリングする。

プログラムを用いた自動モデリング手順を図2に示す。まず手順 1〜3 では、ドローンを飛行させて画像を取得し、敷地の点群を作成する。次に手順 4〜6 では、BIM ツール上で点群と国土地理院地図の基盤地図情報の道路のみを

日本建築学会情報システム技術委員会
第45回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集，252-255，2022年12月，東京
Proceedings of the 45th Symposium on Computer Technology of Information，
Systems and Applications，AIJ，252-255，Dec.，2022，Tokyo

抽出した2DCADデータの位置を手動で合わせ、BIMツールの線分描画機能で敷地境界線の描画を行う。手順7では、BIM ツール上に描画した敷地境界線、道路境界線の2DCAD データを対象に「境界線頂点座標取得プログラム」を実行し、敷地境界線と道路境界線の線分の端点座標を取得する。手順 8 では、「点群分離プログラム」を実行し、手順7で取得した座標を用いて点群データを「敷地面」の点群、「道路面」の点群、「周辺環境及び敷地と道路点景」の点群の 3 種類の点群に自動分離する。最後に、手順 11 で「点群軽量化プログラム」を用いて分離した点群データを軽量化したのち、手順 12 で「モデリングプログラム」を実行して、「敷地面」、「道路面」の自動モデリングを行う。その後、福岡らの研究[1)]で開発したプログラムを使用することで、当該敷地上に仮設住宅の配置案を自動作成することができる。

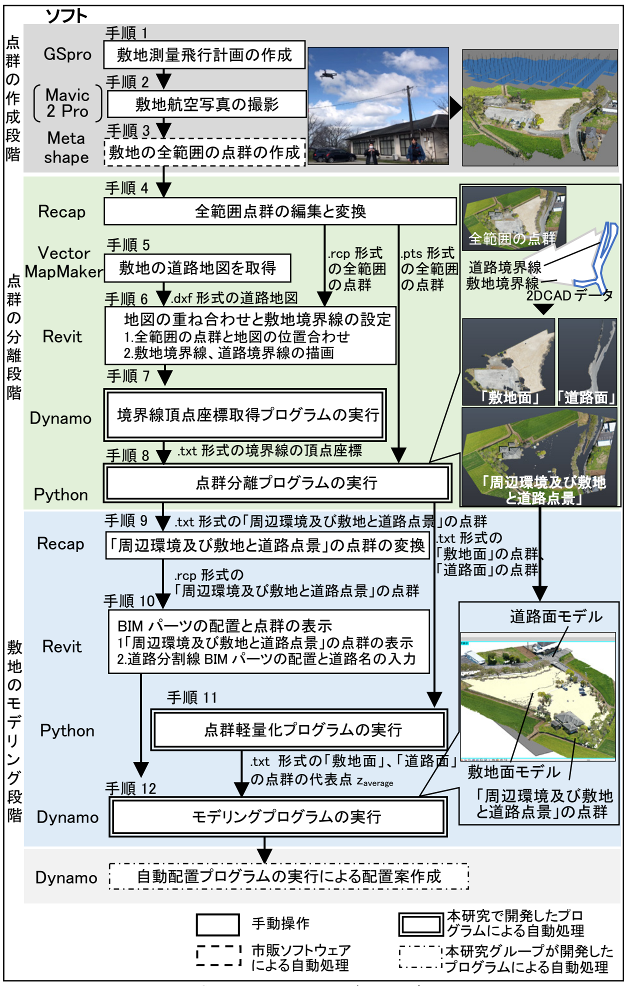

図 2 敷地の自動モデリングの手順

3. 敷地面及び道路面自動モデリングプログラムの開発

3.1. 開発環境

プログラムの開発にあたり、BIM ソフトウェアとしてRevit2021（以下、Revit）、開発環境として Dynamo2.6.1（以下、Dynamo）、Python3.7.9（以下、Python）を使用した。

3.2. 境界線頂点座標取得プログラムの開発

「境界線頂点座標取得プログラム」では、BIM ツール上の敷地境界線及び道路境界線の各線分の頂点座標をテキストファイルに書き出す。

3.3. 点群分離プログラムの開発

「点群分離プログラム」では、全範囲の点群を「敷地面」、「道路面」、「周辺環境及び敷地と道路点景」の3種類の点群に自動分離する。点群分離プログラムの処理の流れを図 3 に示す。

B-Step1 では、「境界線頂点座標取得プログラム」で取得した座標を用いて全範囲の点群 1 つ 1 つに対して内外判定を行い、「敷地面及び敷地点景」、「道路面及び道路点景」、「周辺環境」の 3 つの点群に分離する。

B-Step2 では、B-Step3 で「敷地面及び敷地点景」、「道路面及び道路点景」の点群を「敷地面」と「敷地点景」、「道路面」と「道路点景」に分離する際に用いる代表点を取得する。「敷地面及び敷地点景」、「道路面及び道路点景」の点群のバウンディングボックスを取得し、平面的にセル状に等分割する。セルの分割間隔は、分離精度と実行処理時間を考慮した結果から 250mm とした。その後、点群が含まれたセルのみ取得し、そのセルの中心点を代表点の x、y として取得する。ここでの代表点の高さ z は、1 つのセル内の全ての点群における最高高さ（z_{max}）を採用する。B-Step3 における分離の際は、隣接する代表点の z の変化によりクラスタリングを行う DBSCAN というアルゴリズムを用いる。DBSCAN とは、「同一のクラスタとする許容距離 ε」と「クラスタを形成するために必要な最小ポイント数 n」の 2 つのパラメータを指定することで距離が ε 以内のポイント同士をグループ化する方法である。これにより、高さが近い代表点が同じグループとなる。B-Step4、B-Step5 では、「敷地面及び敷地点景」、「道路面及び道路点景」の点群のクラスタリング結果から、各クラスタを色分けして表示を行う。その中から「敷地面」もしくは「道路面」とするクラスタを手動で指定することで、指定されたクラスタは「敷地面」もしくは「道路面」の点群に、指定されていないクラスタは「敷地点景」もしくは「道路点景」の点群に分離する。B-Step6、B-Step7 では、B-Step1 で分離した「周辺環境」の点群と、B-Step5 で分離した「敷地点景」と「道路点景」の点群を結合し、「敷地面」、「道路面」、「周辺環境及び敷地と道路点景」の 3 種類の点群をテキストファイルで書き出す。

なお、本研究では点群分離プログラムにおける DBSCAN の「同一のクラスタとする許容距離 ε」および「クラスタを形成するために必要な最小ポイント数 n」をクラスタリング結果の比較検証により決定した。検証は 8 つの敷地で行い、敷地によって地面の勾配や樹木や建物などの地面以外の要素が異なることから、ε と n の値を変

化させ、地面と地面以外の要素を分離できるかつ地面自体が一体のクラスタとして取得できる値を検討した。

検証の結果、ε についてはベンチ以上の高さを持つ要素を分離でき、地面自体は一体の要素として取得できた「ε＝255mm」を採用した（図4）。n については大きな値にすることで地面同士のクラスタの分断されやすい傾向にあった。そのため、地面同士のクラスタの分離を防ぐため最小値である「n =1」を採用した。しかし、許容距離 255mm という数字とベンチ以上の高さを持つ要素を分離できたという事実は論理的に辻褄が合わないため、今後根拠を明らかにする必要がある。

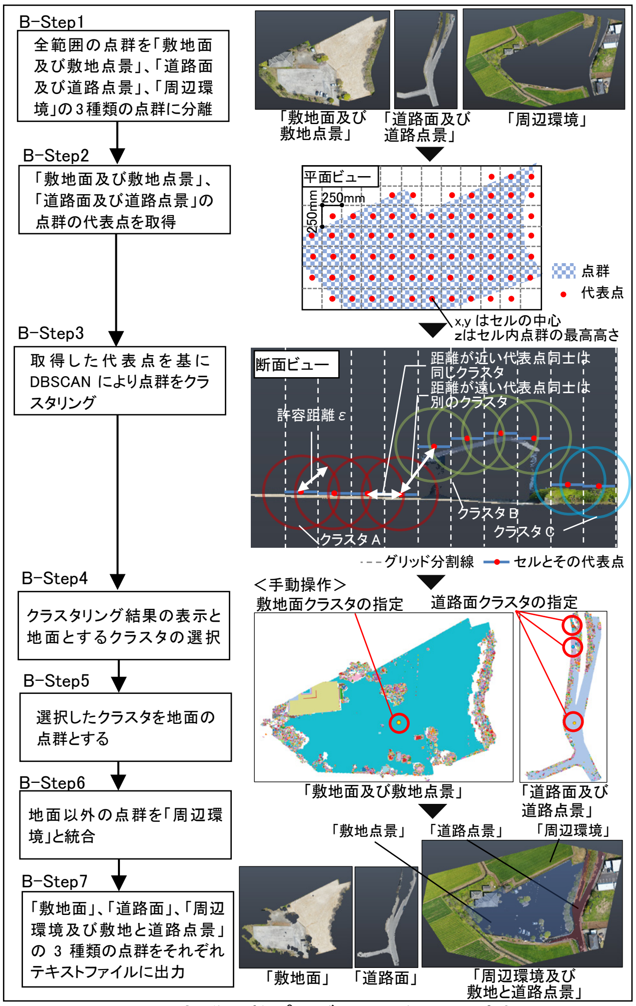

図 3　点群分離プログラムの処理の流れ

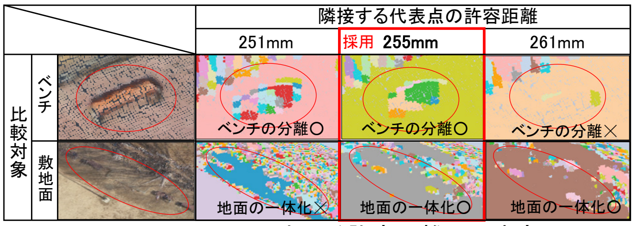

図 4　DBSCAN における許容距離 ε の決定

3.4. 点群軽量化プログラムの開発

「点群軽量化プログラム」では、点群分離プログラムで分離した「敷地面」、「道路面」の点群を間引くことで、点群数を削減する。「敷地面」、「道路面」の点群を 250mm 間隔に等分割した後代表点以外を削除し、テキストファイルに書き出す。ここでの代表点の高さ z については、セル内の全ての点群の平均（$z_{average}$）を採用する。

3.5. モデリングプログラムの開発

モデリングプログラムの処理の流れを図 5、図 6 に示す。

敷地面の自動モデリング

敷地面の自動モデリングでは、敷地境界線を輪郭として点群軽量化プログラムで間引いた敷地面の代表点の高さから敷地面モデルを作成する。なお、敷地面モデルは地盤面の属性を持つ BIM パーツで作成する。Ds-Step2 ではグリッド上に並んだ代表点の欠落箇所を、内側の欠落箇所は周囲の代表点同士を結んだ x 軸方向、y 軸方向の 2 本の線分から、外側の欠落箇所は端の代表点から延長した線分から高さを算出することで代表点を補完する。Ds-Step3 で全ての代表点から地盤面モデルを作成し、Ds-Step4 で敷地境界線とバウンディングボックスに囲まれた領域に BIM ツールの舗装を作成し、敷地外の地盤面モデルを切り取ることで 1 つの敷地面モデルが作成される。

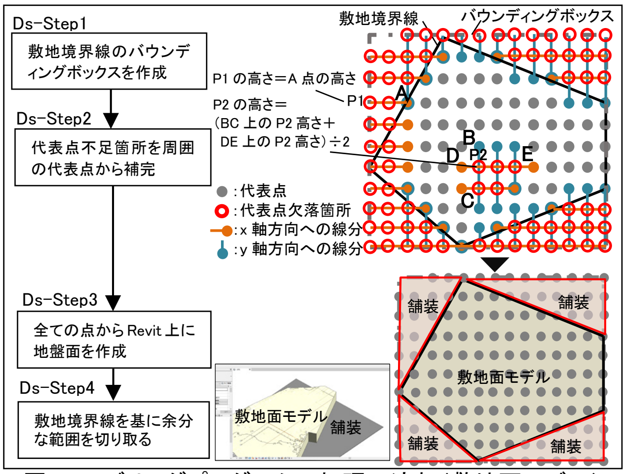

図 5　モデリングプログラムの処理の流れ（敷地面モデル）

道路面の自動モデリング

Revit には道路の属性を持つ BIM パーツがないため、輪郭に沿った勾配のある面のモデルの作成に適した床の属性を持つ BIM パーツで作成する。その場合、道路面の代表点を繋ぐようなモデリングができないため、道路を横断するよう等間隔に分割し、分割した線に点群軽量化プログラムで間引いた道路面の代表点から高さを与え、その線を繋ぐように道路面モデルを作成する。

Dr-Step1 では各道路境界線分の頂点、道路境界線のうち長い方の線を 1m ごとに分割した点から他方の線と最短距離で接続する線分（以下、分割線）を作成する。この際、交差する分割線、同一の端点を持つ分割線は削除する。Dr-Step2、Dr-Step3 では、各分割線を中心とした四角形を

作成し、平面上で四角形の内側にある代表点の高さの平均値を取得する。Dr-Step4 では、四角形内に代表点を取得できた分割線のみに Dr-Step3 で取得した高さの平均値を与え、端点を取得する。Dr-Step5 では、道路境界線を輪郭に Dr-Step4 で取得した端点を繋ぐように BIM パーツを作成することで、代表点の欠落箇所も高さ情報が付与された 1 つの道路面モデルが完成する。

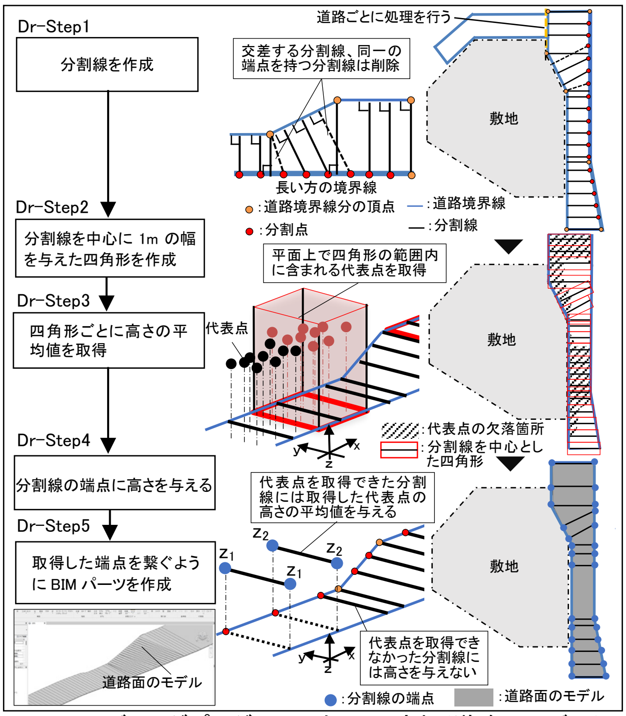

図 6　モデリングプログラムの処理の流れ（道路面モデル）

4. プログラムの評価

仮設住宅の建設敷地であった 3 敷地及び仮設住宅の建設候補地である 5 敷地の計 8 敷地を対象に、提案手法を用いて各敷地の点群の自動分離と敷地面及び道路面の自動モデリングを行い、提案手法の評価を行った（表 2）。

表 2　検証を行った敷地の概要

No.	都道府県	敷地名	建設対象敷地面積（㎡）
1	熊本県	KB 公園	5, 690
2		KR 公園	8, 280
3		BH グラウンド	11, 370
4		SN 公園	2, 700
5	神奈川県	KS 野球場	9, 870
6		SH 野球場	6, 010
7		CH 広場	7, 730
8		NS 広場	4, 360

1）点群分離に関する検証結果と考察

全 8 敷地中 6 敷地は問題なく「敷地面」、「道路面」、「周辺環境及び敷地と道路点景」の点群に分離することができた（図 7）。一方、2 敷地では以下の 2 つの問題点が生じた（図 8）。1 つ目は「階段やスロープ等の工作物の分離不足」、2 つ目は「ブルーシートの分離不足」である。これは、開発プログラムが隣接する代表点同士の高さ変化によるクラスタ分けにより分離を行っており、緩やかに高さが変化する代表点同士が同じクラスタとなるように許容距離 ε を決定しているため、地面と同様に緩やかな勾配で高さが変化する要素は地面と同じクラスタとなってしまうことが原因であると考えられる。

2）モデリングに関する検証結果と考察

全 8 敷地のうち全ての敷地で問題なく「敷地面」、「道路面」モデルを自動作成することができた（図 9）。これは、開発プログラムが点群欠落箇所の補完機能、モデリングの輪郭を 2DCAD データとする機能を有するためであり、高い精度で点群からモデルを作成できたと考えられる。

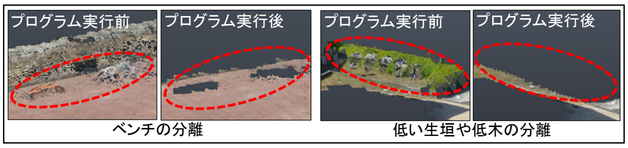

図 7　点群分離結果の例（分離可）

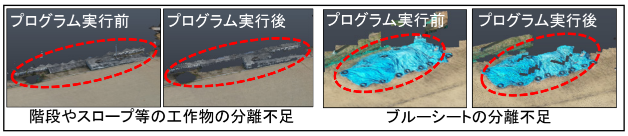

図 8　点群分離結果の例（分離不可）

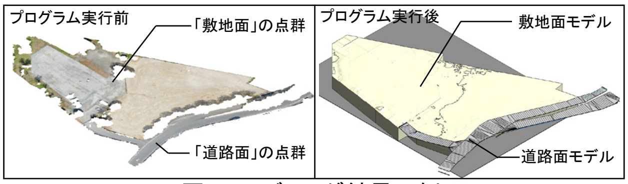

図 9　モデリング結果の例

5. 本研究の成果と課題

本研究では、仮設住宅の計画敷地の特徴である緩やかな傾斜のある広大な敷地を念頭に、DBSCAN を利用することで勾配の変化が小さい点同士は一体の要素、大きい点同士は別の要素とし、「敷地面」と「敷地点景」、「道路面」と「道路点景」に自動分離できるプログラムを開発した。また、「敷地面」、「道路面」モデルの輪郭は 2DCAD データから高さ情報は点群から取得し、点群欠落箇所は周囲の点群から補完することで高い精度で点群から BIM モデルを自動作成できるプログラムを開発した。

課題としては、分離できなかった地面以外の緩やかに高さが変化する要素の分離や、DBSCAN に用いた許容距離 ε の論理的な根拠の解明があげられる。

謝辞

大和ハウス工業株式会社、大和リース株式会社の関係者の方々には、研究を進めるにあたり貴重なデータをご提供いただくとともに、多大なご助言を賜りました。この場をお借りして御礼を申し上げます。

参考文献

1）福岡怜大、大西康伸、「対話的計画機能を実装した BIM による仮設住宅配置案の作成手法に関する研究」、日本建築学会第 42 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集（DVD）、pp.48-53、2019.12