

# 建物に関する様々な計測データの 3D 都市モデルへの効率的なマッチング

佐藤 剛\*・遠藤 隆浩\*\*・小俣 博司\*\*\*・関本 義秀\*\*\*

## Efficient method of linking various types of measurement data related to buildings to the 3D city model

Go Sato\*, Takahiro Endo\*\*, Hiroshi Omata\*\*\*, Yoshihide Sekimoto\*\*\*

**Abstract:** Currently, the MLIT is developing an open 3D city model named PLATEAU. There is an abundant measurement data related to the buildings, such as private maps and point clouds. The value of the 3D city model will be enhanced by utilizing these data. For this purpose, it is necessary to identify which buildings these measurement data are for. In this paper, we propose and evaluate an efficient matching method for various measurement data on buildings, mainly using geometric properties. As the private map, Zenrin building data was used. For each polygon in whole Numazu city Zenrin building data, PLATEAU building ID was given using Open Location Code and overlapping ratio. Matching success ratio for the Zenrin building data was 92.4 %. As the point cloud, MMS point cloud was used. Wall ID was given to the point cloud near the designated building. The result was compared to the Google Street View and proved to be qualitatively good.

**Keywords:** 3D 都市モデル(3D city model), 建物マッチング(building matching), 空間 ID(spatial ID)

### 1. はじめに

近年、世界各国において 3D 都市モデルの整備が進められている。日本においても 3D 都市モデルの整備が進められており、現在国土交通省において行われている Project PLATEAU はそうした 3D 都市モデル整備プロジェクトの 1 つである。PLATEAU は日本全国の都市において 3D 都市モデルをオープンデータとして整備するプロジェクトであり、整備されたデータは都市活動モニタリング・防災・まちづくり等に活用されることが見込まれている。テキストや建物用途等、建物に関する情報を増やすことでモデルの価値はさらに高まると考えられる。

ゼンリン住宅地図や三次元点群等、様々な主体による建物に関する計測データは豊富に存在する。ゼ

ンリン地図は株式会社ゼンリンが現地調査・計測情報・図面調査に基づいて作成しているデータであり、建物名や用途に関する情報を持っている。三次元点群は航空レーザー測量や MMS とよばれる特殊車両などによって計測されたデータであり、建物の色や形状に関する情報を持っている。これらのデータは PLATEAU とは独立に作成されるものであるため、これらのデータを PLATEAU と結びつけるためにはデータの種類に応じた自動紐づけ手法を整理・体系化する必要がある。

そこで本論文では、建物に関する様々な計測データの中からゼンリン住宅地図と三次元点群に注目し、これらのデータの 3D 都市モデルへの効率的なマッチング手法について検討し、評価を実施した。

---

\* 学生会員 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻  
(Department of Civil Engineering, the University of Tokyo)

Email: gosato@iis.u-tokyo.ac.jp

\*\* 非会員 一般社団法人社会基盤情報流通推進協議会  
(Association for Promotion of Infrastructure Geospatial Information Distribution)

\*\*\* 正会員 東京大学空間情報科学研究センター  
(Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo)



図1 本研究における検討内容の全体像

本研究における検討内容の全体像を図1に示した。具体的な検討内容として、ゼンリン住宅地図については、静岡県沼津市全域の各ゼンリンレコードについて Open Location Code (OLC) 6桁が一致し、かつ重複率20%以上となる PLATEAU をマッチングさせた。マッチングする PLATEAU 建物が存在しないゼンリンポリゴンに対しても、信頼度は低いが対応している可能性のある PLATEAU を OLC・面積差・重心間距離を基準にサジェストした。三次元点群については、沼津駅北口付近の建物1つに注目し、付近の MMS 点群を構成する各点について面IDを付与した。

## 2. 既存研究

### 2.1 2次元ポリゴン同士のマッチング

独立に作成された2つのGISポリゴンを比較する研究として Tong et al. (2009)が存在する。Tong et al. (2009)においては形状が一致しない2つのGISポリゴンとして、紙地図からデジタル化によって生成されたポリゴンと QuickBird 画像(衛星画像)から抽出された建物形状ポリゴンが用いられている。ポリゴンの類似度は代表点間距離と重複面積によって評価されている。Tong et al. (2009)においてはポリゴン同士を結びつけるにあたり、閾値設定の重要性が指摘されているほか、1対多、1対無、多対多のポリゴンマッチングの難しさが指摘されている。

独立に作成された2つのGISポリゴンの類似度を評価するにあたり、教師あり学習による重み付けの最適化を実施した研究として Ruiz-Lendínez et al. (2017)が存在する。Ruiz-Lendínez et al. (2017)では、形状が一致しない2つのGISポリゴンとしてスペイン国立地理研究所作成データ (BCN25) とアンダルシア統計地図研究所作成データ (MTA10) を利用し

ている。Ruiz-Lendínez et al. (2017)ではポリゴンの類似度を「凸頂点数、凹頂点数、外周長、面積、最小2次モーメント、Arkin Graph Area (外周長を1に正規化後、方向ベクトルの向きから定義される値 $\theta$ と経過した外周距離 $s$ について $\int \theta(s)ds$ を該当ポリゴンを1周するように計算した値)、最小外接矩形」の7つの基準から得られる値の重み付き線型結合により、0以上1以下の値として定義している。

続いて、技術者が手動で作成した800ペアからなる教師データセットを用いて、教師ペアとの一致度を最大化するマッチングを実現する重みが遺伝アルゴリズムによって最適化計算されている。

Ruiz-Lendínez et al. (2017)によれば、計算結果はポリゴンの特徴量が最小外接矩形、最小2次モーメントと Arkin Graph Area のみから構成され、他の特徴量の重みは8%未満であり、不要な情報であったことを示している。最小外接矩形はポリゴンの空間的位置、最小2次モーメントと Arkin Graph Area はポリゴンの位置に依存しない形状を表している。

このように、Ruiz-Lendínez et al. (2017)はポリゴンの空間的位置と形状をおよそ1:1の重みで評価することで、技術者によるマッチングとの一致度を最大化するように形状が一致しない2つのGISポリゴンの類似度を定義できることを示している。

計算された重みに基づく類似度は8863個のBCN25ポリゴンと9067個のMTA10ポリゴンを用いたペア生成実験に利用された。生成されたペア数は8676個であり、97.9%のBCN25ポリゴンに対してMTA10ポリゴンが割り当てられている。ただし、この手法の課題として、Ruiz-Lendínez et al. (2017)は1対多マッチングに対応できないことや、生成され

表 1 OLC の桁数と表すグリッドの大きさ

| OLC 桁数 | 緯度経度範囲   | 赤道上で範囲     |
|--------|----------|------------|
| 6      | 1/20 度   | 約 5566m 四方 |
| 8      | 1/400 度  | 約 278m 四方  |
| 10     | 1/8000 度 | 約 13.9m 四方 |

たペアが持つ類似度が必ずしも高くないことを挙げている。後者についてはそもそも BCN25 ポリゴンと MTA10 ポリゴンが人間による目視によっても結びつけることが困難な場合があることと関係していることが実際のポリゴンを目視した考察から推定された。

## 2.2 GIS ポリゴンの特徴量

GIS ポリゴンの空間的位置を単一文字列で表現できるライブラリとして Open Location Code (OLC) が存在する。OLC とは、緯度・経度の値をもとにオープンソースライブラリによって生成される文字列であり、本研究で用いる桁数(10 桁以内)の範囲では 2 文字ごとに緯度・経度両方について 20 分の 1 ずつにコードの表す領域が分割される。OLC の仕組みは四分木と類似しており、空間的検索の高速化を実現する。ライブラリ公式ドキュメントから OLC 桁数、緯度経度範囲、赤道上での範囲を引用し表 1 に示した。なお、赤道上での範囲計算においては緯度経度 1 度あたり 111321m という換算が行われているが、今回 OLC を用いる範囲は沼津市であり、経度 1 度あたりの長さは 111321m よりも短い。具体的には、今回用いる OLC が表すグリッドの大きさは東西方向について表 1 で示された大きさよりもおよそ  $\cos(\pi/6)$ , すなわち 0.86 倍ほど小さい。

GIS ポリゴンの形状類似度を距離の公理を満たすように定義し、「形が似ている」ことを定量的に定義した研究として浅見らの研究(2011)がある。浅見らの研究(2011)は、はじめに 2 つの敷地形状が同一であることを平行移動して 2 つの敷地が一致することとして定義している。この際、数学的に 2 つの敷地の形状が相似や合同であっても、面積や方向が異なる敷地は異なる機能性を持つため、2 つの敷地が同一とは必ずしもいえないことを指摘している。続い

て、2 次元図形  $X$  の面積を  $A(X)$  と表すとき、敷地  $X$  と敷地  $Y$  の敷地形状距離を、あらかじめ 2 つの敷地の重心を重ね合わせた後、 $\{A(X \cap Y) - A(X \cup Y)\} / A(X \cup Y)$  を計算することで定義している。敷地  $X$  と敷地  $Y$  の敷地形状が同一の場合この距離は 0 となり、大きく異なる場合でも 1 以下の値となる。

## 2.3 点群と 3 次元都市モデルのマッチング

PLATEAU は CityGML ファイルから構成される。CityGML と点群を結びつけた研究として Beil et al. (2021) が存在する。Beil et al. (2021) は MMS 点群を CityGML に結びつけるにあたり、対応する CityGML 要素から 3D バッファを作成し点群を切り出す作業を実施している。Beil et al. (2021) は論文内作業において有料ソフトウェア FME を利用している。FME は PLATEAU ドキュメントにおいても、CityGML を取り扱うためのソフトウェアとして紹介されており、3 次元都市モデルを扱う上で利用が標準となっているソフトウェアの 1 つであるが、利用には高価な料金が必要である。

3 次元点群を取り扱うためのオープンソースライブラリとして Zhou et al. (2018) で提案された Open3D がある。Open3D に含まれる関数を用いることで建物から XY 平面換算での距離が一定値以内の点のみを選択し保存することができる。これは Beil et al. (2021) で行われる操作に似ているが、Z 座標を考慮した点と面の距離に基づく点群の切り出しは Open3D に含まれる関数をそのまま利用するだけでは不可能である。

## 2.4 既存研究と比較した本研究の位置づけ

初めに、ゼンリンポリゴンの取り扱いに関して、既存研究と比較した本研究の位置付けを述べる。

本研究では Ruiz-Lendínez et al. (2017) で技術者が手動作成したポリゴンペアを用いてポリゴン類似度の計算基準が決定されていることを参考に、まず手動で作成したゼンリンポリゴンと PLATEAU ポリゴンの教師ペアデータに基づきポリゴンマッチングの基準を決定した。ゼンリンポリゴンは PLATEAU ポリゴンに比べポリゴンが細かく分割されている傾向

があったため、Tong et al. (2009)や Ruiz-Lendínez et al. (2017)で難しいとされている 1 対多マッチングが必要となった。そのため、浅見らの研究(2011)で定義された敷地形状距離を参考に、重複率をゼンリンポリゴンを Z, PLATEAU ポリゴンを P として  $A(Z \cap P)/A(Z)$  と定義して利用した。1 対無マッチングにも対応できるように重複率 20% 以下のペアはマッチングさせないように設定した。さらに、教師ペアデータに基づき決定したポリゴンマッチング基準は Ruiz-Lendínez et al. (2017)と同様に広域(沼津市全体)で適用実験を行った。数多くのポリゴンを対象にマッチング検討を行うにあたり、ポリゴン同士の距離の計算時間が長くなることが問題点となったため、今回ポリゴンの空間的位置を表す指標としては OLC を採用した。

三次元点群について、本研究は Beil et al. (2021)と Zhou et al. (2018)で提案された手法やライブラリに PostGIS を組み合わせることで、無料で利用可能なソフトウェアのみで面単位での点群切り出しを実施している。具体的には、本研究においては、Open3D に含まれる関数を用いることで建物から XY 平面換算での距離が 1m 以内の点をあらかじめ保存した後、点とジオメトリの最小距離を PostGIS 関数を用いて計算することで、Z 座標を考慮した面単位での点群切り出しを実現した。

### 3. 実験の方法

#### 3.1 本研究で実装した処理の全体像

本研究ではゼンリンポリゴンに対する PLATEAU 建物 ID マッチング・サジェスト処理と三次元点群を構成する各点に対する壁面 ID 付与処理を Python スクリプトとして実装した。各ゼンリンポリゴンに対するマッチング・サジェストの両方を含む処理の全体像を図 2、三次元点群に対する処理の全体像を図 3 に示した。以下では、処理の実装にあたり検討した事項や、実装の詳細について述べる。

#### 3.2 沼津駅北口付近でのポリゴンマッチング

ゼンリン住宅地図について、はじめにポリゴンマッチングの基準を決定するために沼津駅北口付近の

67 個の建物について教師データを準備した。教師データは PLATEAU 建物データとゼンリン建物データ、正解ペアデータから構成した。PLATEAU 建物データは G 空間情報センターにおいてダウンロードした CityGML ファイル内の LOD1(白箱状)データを PLATEAU 建物 ID と共に GPKG ファイルとして保存することで作成した。ゼンリン建物データも GPKG ファイルとして準備した。PLATEAU 建物データとゼンリン建物データの全ての建物に対して重心位置に関する OLC 列の設定も GPKG ファイル作成時に実施した。

次に、正解ペアと同じマッチングを実現する方法を検討するために、各ゼンリンレコードについてジオメトリ交点を持つ PLATEAU ポリゴンが存在する場合に該当 PLATEAU 建物 ID を保存する操作を行った。候補 PLATEAU 建物 ID が複数存在する場合はジオメトリ重心間距離が最小のものを保存し、存在しない場合はリジェクトとして記録した。保存した PLATEAU ID を正解ペアデータと比較した結果は図 4 のようになった。正しく ID 付与またはリジェクトできたものは 58 個(87%)となり、3 つのエラータイプが出現した。

1 つ目のエラータイプはゼンリンポリゴンが PLATEAU ポリゴンに内包されており、PLATEAU とゼンリンの交点が存在せず、対応 PLATEAU 無と判定されるものであった。このエラータイプに該当するポリゴンは図 4 中赤色斜線で示した 5 つであった。

2 つ目のエラータイプは大きな建物の端部がゼンリンでは分割されている場合、より近い小さな建物とマッチングされてしまうというものであった。このエラータイプに該当するポリゴンは図 4 中青色斜線で示した 2 つであった。これは Tong et al. (2009)や Ruiz-Lendínez et al. (2017)で難しいとされている 1 対多マッチングに相当した。

3 つ目のエラータイプは対応 PLATEAU が存在しない場合に、リジェクトではなく隣の PLATEAU へマッチングしてしまうというものであった。このエラータイプに該当するポリゴンは図 4 中緑色斜線で示した 2 つであった。これは Tong et al. (2009)で難し

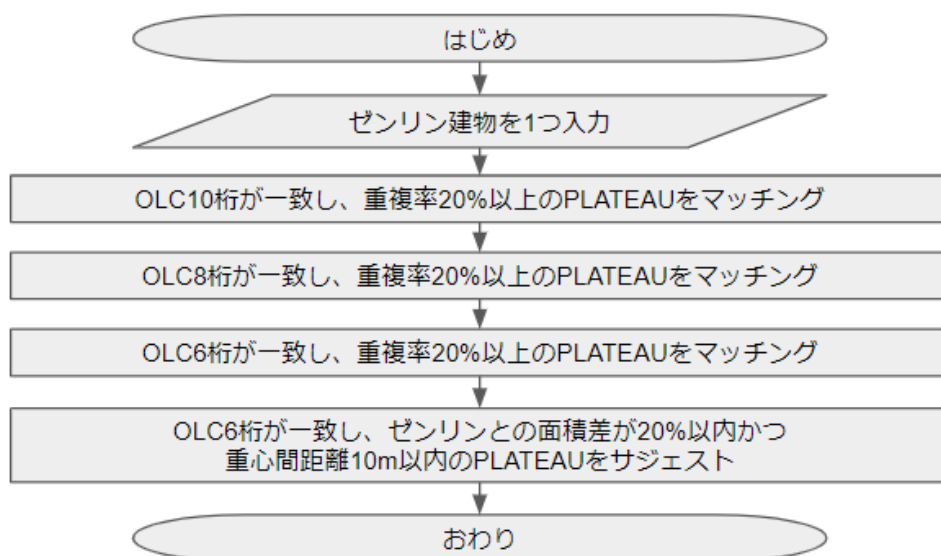


図2 各ゼンリンポリゴンに対するマッチング・サジェストの両方を含む処理の全体像

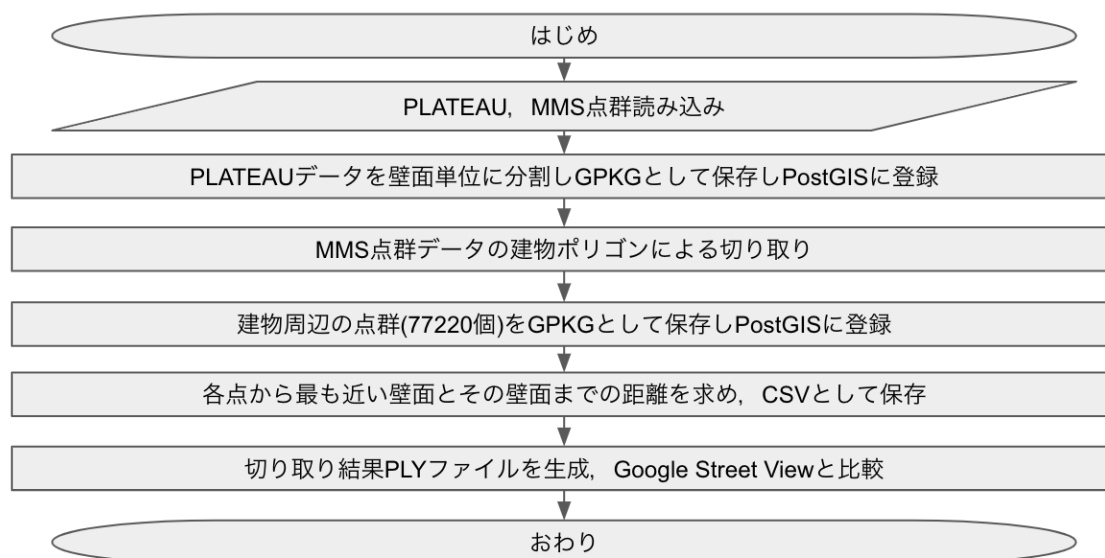


図3 点群に関する処理の全体像

いとされている1対無マッチングに相当した。

続いて、ジオメトリが交点を持たない場合や1対多・1対無マッチングにも対応する、沼津市全体に対して短時間で実行可能なアルゴリズムの案として「各ゼンリンレコードについて OLC k 桁が一致し、かつ重複率 A%以上となる PLATEAU が存在する場合に該当 PLATEAU 建物 ID を保存する」操作を検討した。Tong et al. (2009) で述べられている通り、このような操作を行う際は閾値設定が重要であるため、以下で閾値決定の手順について述べる。

OLC 閾値 k については、はじめに k=10(赤道上で約 13.9m 四方、沼津市においては東西方向について 13.9m よりも狭い範囲を示す)としたところ正解ペアを検出できない場合が生じた。k=8 においてはそのような問題が生じなかったため、最初に k=8 とした。なお、k=8 について、教師データ作成範囲の約 100m 東に対応すべき PLATEAU ポリゴンとゼンリンポリゴンの重心同士を結ぶ線が OLC 境界と交差するペアが存在することが確認されたため、沼津市全体での実行時には k=6 についても検索を行うこととした。

## ID Matching Result



図4 ジオメトリ交点と距離によるマッチング結果

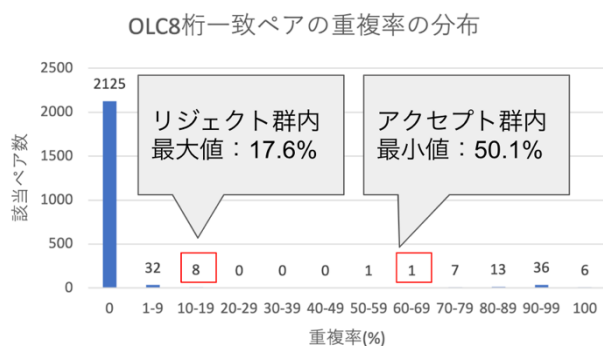


図5 OLC 8 桁一致ペアの重複率の分布

## ID Matching Result



図6 OLC8 桁と重複率 20%によるマッチング結果

次に重複率閾値  $A$  を設定するために、OLC8 桁が一致する全てのペアを作成し、重複率の分布を図示し図5とした。正解ペアデータに含まれるアクセプトすべきペアの重複率は全て 50.1%以上で、正解ペアデータに含まれないリジェクトすべきペアの重複率は全て 17.6%以下であった。そこで重複率閾値  $A$

を 20%と設定した。  $k=8, A=20\%$  とすることで教師付きデータ全てについて正しく ID 付与またはリジェクトできることを確認した。その結果が図6である。

### 3.3 広域でのポリゴンマッチング

3.2での考察を踏まえ、静岡県沼津市全域の各ゼンリンレコードについて、OLC  $k$  桁が一致しかつ重複率 20%以上となる PLATEAU が存在する場合に該当 PLATEAU 建物 ID をマッチングさせる操作を  $k=10, 8, 6$  の順で実施した。OLC 閾値  $k$  の値が大きいかほど1つのゼンリンレコードあたりの検索時間は短い。沼津市全体での実行においては、実行時間短縮のため、大きな OLC 閾値  $k$  の値でも重複率 20%以上の PLATEAU ポリゴンが見つかるゼンリンポリゴンについては順次検索を行うゼンリンレコード群から除外することとした。重心が 100m 以上離れたポリゴンも AND 条件を設けて検索対象から除外することによってもさらなる実行時間短縮を図った。

上記の作業によってマッチングする PLATEAU が存在しない場合、OLC 6 桁が一致し、ゼンリンとの面積差が 20%以内かつ重心間距離 10m 以内となる PLATEAU が存在する場合に該当 PLATEAU 建物 ID をサジェストすることとした。これは、マッチングする PLATEAU 建物 ID が存在しないゼンリンポリゴンに対して、信頼度は低いが対応している可能性のある PLATEAU ID を与えることを目指したものである。サジェストされたポリゴンについては本アルゴリズムの利用者が目視で確認することを想定した。

### 3.4 点群と3次元都市モデルの連携

三次元点群については、沼津駅北口付近の建物 1 つに注目し、各点について面 ID を付与することを検討した。具体的に注目した建物は PLATEAU 建物 ID 「22203-bldg-97124」の建物である。この建物は 3.2で教師データ作成対象範囲とした建物のうち最も南西にある建物であり、西側に接する道路の MMS 点群データが静岡ポイントクラウドで公開されていることから注目対象とした。

PLATEAU の LOD1(白箱状)データは GPKG ファイ



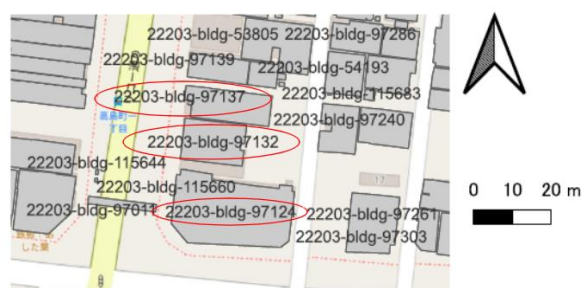


図7 切り出された点群の色平均値を計算した建物

ルにおいて Multi Polygon Z型を持つ。はじめに Multi Polygon Z型を形成する各面を個別に PostGIS データベースに登録し、初めの面から順に面 0, 面 1, 面 2, ...と面 ID を付与した。次に、三次元点群について、Open3D を用いて建物から XY 平面換算での距離が 1m 以内の点のみを選択した上で、PostGIS データベースに登録した。続いて、点群を形成する各点について最も近い面を検索することで各点に面 ID を付与した。この操作によって、PostGIS に登録した 77220 個の MMS 点群に対し面 ID を付与し、特定の面 ID (面 ID 17) を指定し点群を切り出した結果を無料ソフトウェアの Cloud Compare で目視可能な PLY ファイルとして保存し、Google Street View 画像と比較した。

点群の切り出し結果については、各面 ID に対し切り出された全ての点の画素平均値を計算する作業も実施した。この計算を行った目的は、既存の三次元都市モデルに色情報を追加することを目指した考察を行うためである。平均値計算は最初に注目した建物 ID 「22203-bldg-97124」をもつ建物以外に建物 ID 下 5 桁がそれぞれ「97132」「97137」となる建物についても実施した。「97132」は「97124」の北隣に位置し、「97137」は「97132」の北隣に位置する。具体的なこれらの建物の位置は図 7 において赤丸で建物 ID を囲うことによって示した。また画素平均値計算は MMS 点群だけでなく、同じく静岡ポイントクラウドで公開されている航空レーザー測量で取得された点群データ(LP 点群データ)に対しても実施した。

#### 4. 実験の結果と考察

ゼンリンポリゴンに対する処理結果を表 2 に示した。表 2 の通り、OLC と重複率を用いることにより、沼津市全体の 88525 個のゼンリンポリゴンのうち、92.4%に相当する 81771 個のポリゴンに PLATEAU 建物 ID をマッチングさせ、0.7%に相当する 684 個のポリゴンに PLATEAU 建物 ID をサジェストすることに成功した。今回マッチングが行われた割合 92.4%は Ruiz-Lendínez et al. (2017)における 97.9%という値に比べて小さな値となった。しかし、利用したデータセットの違いや、マッチング対象外のポリゴンに、1 対無マッチングの成功例、すなわち正しいリジェクトも含まれていることを考慮すると、今回検討した手法は、Ruiz-Lendínez et al. (2017)に比べて利用した特徴量がシンプルかつ数も少ないにもかかわらず精度に大きな差は無いと考えられた。

沼津市全体での実行時間計測はクラウドサーバー上で実施した。具体的には AWS EC2 t3.medium インスタンスを利用した。AWS 公式ドキュメントによれば、t3.medium インスタンスは「最大 3.1 GHz の持続的な全コアターボを備えた、第 1 もしくは第 2 世代インテル Xeon Platinum 8000 シリーズ (Skylake-SP もしくは Cascade Lake) プロセッサ」を搭載しており、メモリは 4GB である。この環境における実行時間は 634 秒であり、実用的な範囲であった。

教師データ作成範囲外の処理結果例を図 8 として示した。図 8 は教師データを作成した地域に近い沼津駅から、東海道本線において 2 駅分離れた原駅北

表 2 ゼンリンポリゴンに対する処理結果

|                       | 沼津市全体 |
|-----------------------|-------|
| ゼンリンポリゴン数             | 88525 |
| PLATEAU ID がマッチングされた数 | 81771 |
| PLATEAU ID がサジェストされた数 | 684   |
| マッチングが行われた割合          | 92.4% |
| マッチングもしくはサジェストが行われた割合 | 93.1% |
| 実行時間(秒)               | 634   |



図8 教師データ作成範囲外の処理結果例

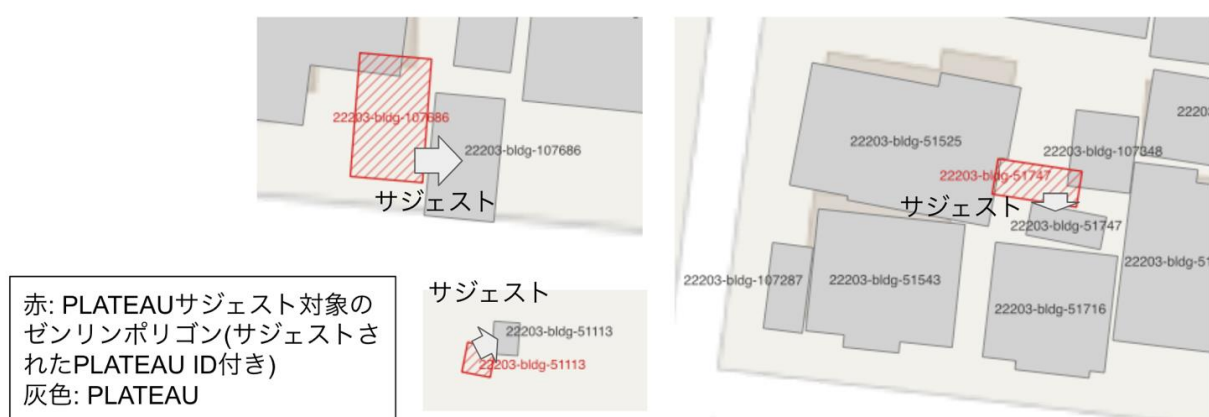


図9 適切であると考えられたサジェスト例

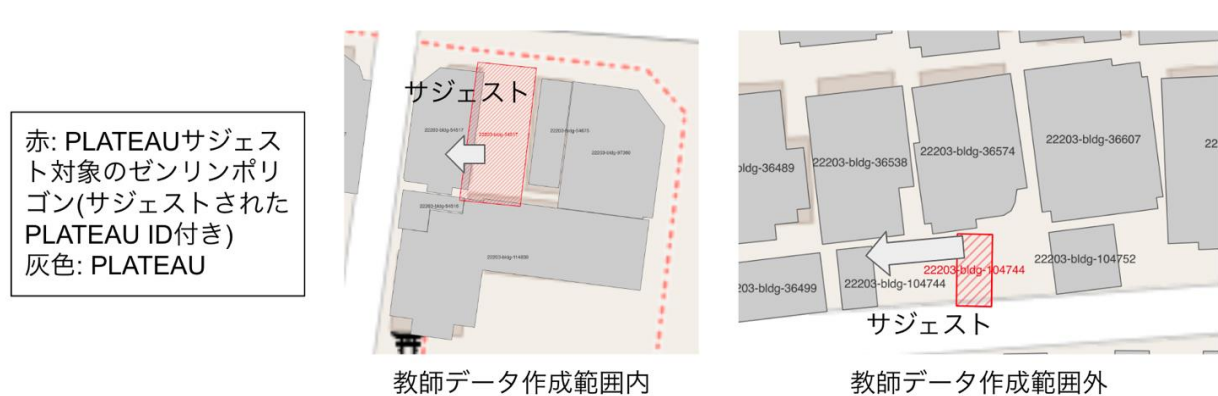


図10 適切ではないと考えられたサジェスト例

西部付近の建物群に対して作成したものである。

マッチング・サジェストの結果は、図8の範囲においてはいずれも妥当であった。特にサジェストについて、図8におけるサジェストは北東方向の形状が類似しているものの重複率が低くマッチングされないPLATEAUポリゴンを対象としたものとなって

おり、サジェスト機能を追加する意義を示したものとなっている。ただし、他の地域においては、サジェストが適切でない例も見られた。

適切であると考えられたサジェスト例と適切ではないと考えられたサジェスト例をそれぞれ図9、図10として示した。サジェストについては、本アルゴ



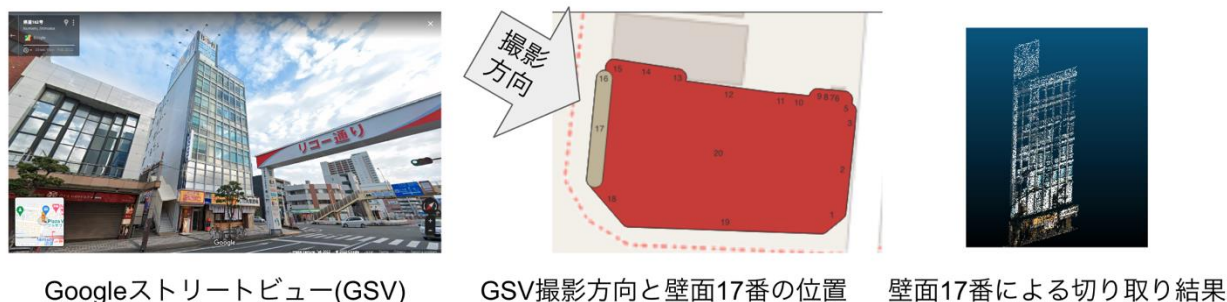


図 11 壁面番号を指定した点群切り取り結果

表 3 図 11 に示した建物の画素平均値計算結果

| 壁面番号 | MMS 点群          | LP 点群           |
|------|-----------------|-----------------|
| 2    | 平均値無し           | (175, 184, 185) |
| 12   | (190, 198, 198) | (112, 129, 141) |
| 14   | (160, 161, 158) | (118, 131, 139) |
| 17   | (135, 140, 136) | (198, 206, 202) |
| 18   | (143, 149, 145) | (211, 218, 214) |
| 19   | (99, 97, 89)    | (238, 241, 235) |

表 4 画素平均値計算に成功した壁面数

| 建物 ID<br>下 5 桁 | 総壁面数 | MMS<br>点群 | LP<br>点群 |
|----------------|------|-----------|----------|
| 97124          | 19   | 8         | 19       |
| 97132          | 11   | 7         | 11       |
| 97137          | 9    | 7         | 9        |

リズムの利用者が目視で確認することを想定しているため、このように適切なサジェストと適切でないサジェストが入り交じる結果は妥当であると考えた。

続いて、点群に関する処理結果として、壁面 17 番による点群切り取り結果を図 11 に示した。中央の図は上方向が北である。切り出された点群は妥当であると目視によって推定された。特に 1 階部分の切り出された点群の質は高く、建物の特徴をはっきりと捉えていた。

GSV での考察を行った建物 ID「22203-bldg-97124」をもつ建物について、画素平均値計算を行った結果のうち、代表的な面のものを表 3 に示す。画素平均値は(R, G, B)という値の組によって示している。

壁面番号 2 は建物東側の面である。MMS 点群は建物西側の道路沿いのもののみが主に存在したため、壁面 2 について切り出される MMS 点群は存在せず、平均値無しとなった。LP 点群は特定の道路に面しないことが点群密度低下を招くことがなく、壁面 2 に対しても画素平均値計算が成功した。

図 11 の建物北西から撮影された GSV を見ると、建物北側の「壁面 12 や 14」は建物西側の「壁面 17」より白いことが推定される。画素平均値の値が全体的に大きいほど白に近い色になることを考えると、表 3 は MMS 点群の平均値の方が LP 点群の平均値に比べて正確である可能性を示唆していた。

表 4 に今回画素平均値計算を行った 3 つの建物に対し、画素平均値計算に成功した壁面数を示した。3 つ全ての建物において、MMS 点群では壁面画素平均値計算に失敗する場面があったが、LP 点群では全ての壁面に対して画素平均値計算に成功した。このことは、LP 点群データのカバー率の高さを定量的に示していると考えられた。

図 12 に、MMS 点群から計算した壁面画素平均値を 3 つの建物について 3 次元データに貼り付けた結果を北側から見た図を示した。平均値無しの箇所は黒、天井面は赤として図示している。また、3 次元データとして GUI 表示される色は光源によって元の画素数値と異なる値となるため、図 12 で示された壁の色は画素平均値計算結果とは必ずしも一致しない。図 12 と同様の処理を LP 点群に対して行った結果は図 13 として示した。図 12 と図 13 は点群切り出しの結果が将来的に 3 次元都市モデルの情報充実につながりうることを示している。

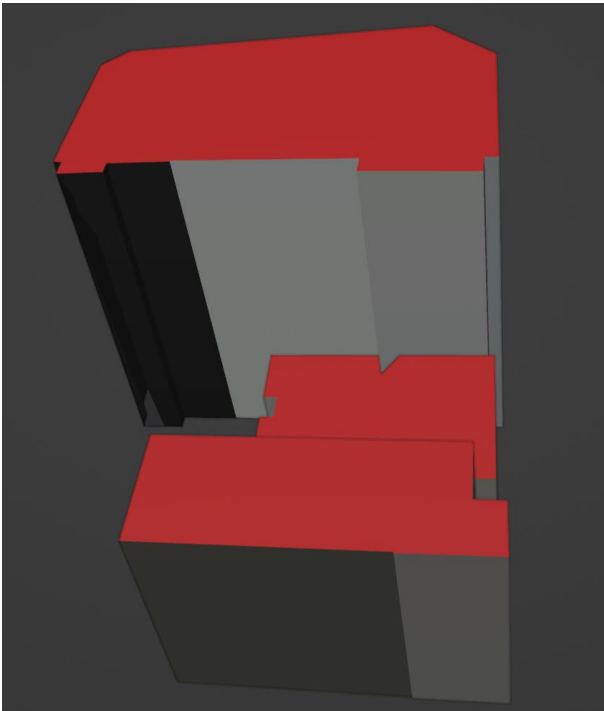


図 12 画素平均値を壁面に貼り付けた結果(MMS)  
平均値無しの箇所は黒，天井面は赤として着色

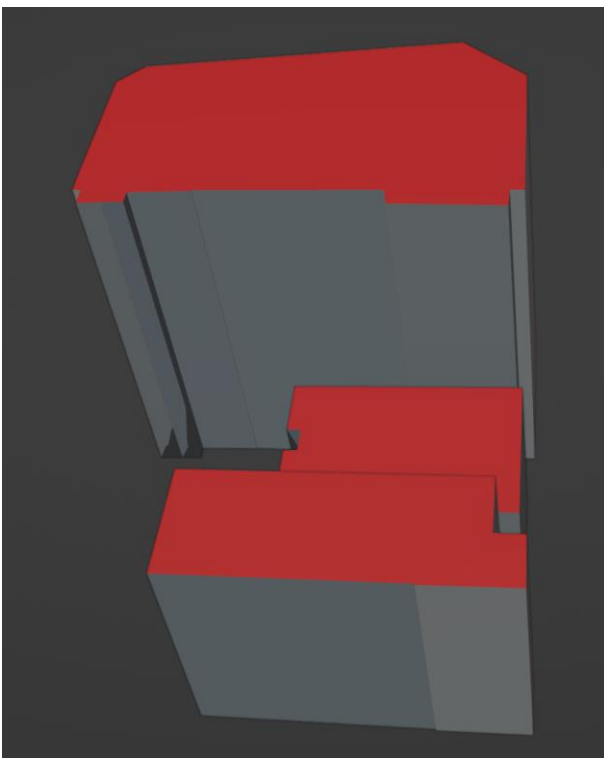


図 13 画素平均値を壁面に貼り付けた結果(LP)  
平均値無しの箇所は黒，天井面は赤として着色

## 5. おわりに

本論文では建物に関する様々な計測データの中からゼンリン住宅地図と三次元点群に注目し、これらのデータの3次元都市モデルへの効率的なマッチング手法について検討し、評価を実施した。結果はいずれもおおむね妥当と考えられたが、特に点群データについてはさらなるマッチング範囲拡大を目指す必要があると考えられた。加えて、3次元都市モデルの情報充実を目指すにあたっては、実際にCityGMLに今回入手した情報を付与する方法を検討することも重要であると考えられる。この際、点群データを扱う場合には、カバー率の高いLP点群データと質の高いMMS点群データを適切に使い分ける必要があることが本論文における考察から示唆された。本論文で検討した事項に基づき、今後も3次元都市モデルの情報充実に向けた手法開発に取り組んでいきたいと考えている。

## 参考文献

- Beil, C., Kutzner, T., Schwab, B., Willenborg, B., Gawronski, A., & Kolbe, T. H. (2021) Integration of 3D point clouds with semantic 3D city models providing semantic information beyond classification. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, **8**.
- Ruiz-Lendínez, J. J., Ureña-Cámara, M. A., & Ariza-López, F. J. (2017) A polygon and point-based approach to matching geospatial features. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, **6**(12), 399.
- Tong, X., Shi, W., & Deng, S. (2009) A probability-based multi-measure feature matching method in map conflation. *International Journal of Remote Sensing*, **30**(20), 5453-5472.
- Zhou, Q. Y., Park, J., & Koltun, V. (2018) Open3D: A modern library for 3D data processing. arXiv preprint arXiv:1801.09847.