(34) 点群データのプロダクトモデル化のための領域データの自動生成に関する基礎的研究

山本　忍[1]・今井　龍一[2]・中村　健二[3]・塚田　義典[4]・麻生　紀子[5]

[1]学生会員　法政大学大学院　デザイン工学研究科（〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33）
E-mail: jin.yamamoto.2j@stu.hosei.ac.jp

[2]正会員　法政大学　デザイン工学部（〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33）
E-mail: imai@hosei.ac.jp

[3]正会員　大阪経済大学　情報社会学部（〒533-8533 大阪府大阪市東淀川区大隅 2-2-8）
E-mail: k-nakamu@osaka-ue.ac.jp

[4]正会員　摂南大学　経営学部（〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8）
E-mail: yoshinori.tsukada@kjo.setsunan.ac.jp

[5]非会員　ダイナミックマッププラットフォーム株式会社（〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 2-12-4）
E-mail: Aso.Noriko@dynamic-maps.co.jp

多様なレーザ機器を用いて，国土空間の隅々に至るまで点群データが計測・蓄積されようとしている．レーザ計測の成果である点群データは，位置座標を保持した点の集合体のため，用途展開が制限される．この解決策として，著者らは点群データのプロダクトモデル化に取り組んでおり，道路図面や自動運転用の道路地図から 3 次元空間上の地物を指定する領域データと地物毎の点群データとを用いて，地物の識別モデルを構築した．しかし，道路図面や道路地図がない区間では，プロダクトモデル化に必要な領域データが生成できない課題がある．

本研究では，地物の識別モデルを用いて，地物単位の領域データを自動生成する手法を提案する．そして，自動運転用の道路地図から生成した領域データと提案手法の領域データとを比較し，提案手法の有用性を確認した．

Key Words: *road objects, area data, semantic point cloud data, HD map, deep learning*

1. はじめに

近年，レーザ計測技術の革新により，道路空間や都市空間の 3 次元形状を表現する点群データ（以下，「点群」とする．）が，様々なレーザ測量機器で計測されている．レーザ測量機器には，移動体計測車両（MMS），地上設置型レーザスキャナ（TLS）等があり，様々な場所で大量の点群が計測・蓄積されている．レーザ測量成果である点群は，位置座標を保持する膨大な点の集合体であり，各点は意味を持たない．そのため，この点群を賢く扱うには，道路地物（以下，「地物」とする．）単位の識別や地物の意味を点群に与えて構造化するプロダクトモデル[1]の構築が一策となる．

この背景の下，著者らは，道路図面や道路地図を用いた地物の抽出手法を提案した．道路図面を用いた手法では，完成平面図を点群の下敷きにして，点群から地物を抽出する[2]．道路地図を用いた手法では，衛星を 5 基以上捕捉する区間で地図情報レベル 500 を保持する自動運転の基盤地図である高精度 3 次元地図データ（以下，「HD マップ」とする．）に則して地物を抽出する[3]．いずれの既存手法[2),3)]とも点群データの属性管理仕様【道路編】（案）[4]に準拠した領域データを生成し，点群データの無償ソフトウェアである 3D Point Studio[5]で地物を抽出する．点群と領域データの関係を**図-1** に示す．領域データは，地物の外形線から作成した 3 次元空間の領域を指定できるデータである．領域データの活用例は，領域データを点群に重畳することで，膨大な点群から地物が抽出できる．しかし，既存手法[2),3)]は，道路図面や道路地図を参照し，領域データを生成するため，道路図面や道路地図が存在しない区間では，領域データを生成できず点群から地物を抽出できない．この領域データがない場合，膨大な点群

から目視で地物を確認し，手動で抽出するため，多大な労力を要する．そのため，著者らは，領域データで抽出した地物の点群（以下，「地物点群」とする．）を教師データとし，地物を自動識別するモデル（以下，「識別モデル」とする．）を構築した[6]．これにより，点群を「地物」と「その他」に識別できる．例えば，複数の信号機を識別する場合，信号機のすべての点に地物の属性値が付与されるため，信号機のみを一括で抽出できる．しかし，属性値に基づく信号機の識別結果では，**図-2** に示すような複数の信号機が結合された領域データとして出力される．そのため，**図-2** 右に示す点群データのプロダクトモデルの構築には，地物の形状を適切に包囲した領域データを自動生成する必要がある．

以上より，本研究の目的は，識別モデルを用いた領域データの自動生成手法の考案とする．

2. 研究概要

(1) 点群データのプロダクトモデル化

本研究で構想する点群データのプロダクトモデル化とは，**図-2** 右に示すとおり，点群を地物の構成点単位に領域データで包囲して構造化することである．この構想を実現するには，道路図面や道路地図に依存しない地物単位の領域データを生成する必要がある．領域データが自動生成できると，点群を地物単位で管理でき，地物単位の空間検索や時系列で取得された点群の差分解析の活用が期待できる．そのため，本研究では，点群データのプロダクトモデル化で重要な役割を担う領域データの自動生成手法を提案する．

(2) 対象地物

HD マップの地物型と地物名，そして領域生成の対象地物を**表-1** に示す．HD マップでは，主に Wall 型，Box 型，ライン型，領域型等の 4 つの地物型が定義される．道路標識は Wall 型，信号機は Box 型，区画線はライン型，道路標示は領域型である．本研究では，Wall 型および Box 型における領域データの生成手法を提案する．

(3) 識別モデル及び点群データの仕様

本研究では，既存研究[6]で構築した識別モデルを利用する．識別モデルは，点群の識別精度が良好な ConvPoint[7]を採用し，道路標識と信号機のそれぞれでモデルを構築した．パラメータは，Batch size が 16，Iteration が 1,000，Epoch が 100 である．いずれとも初期値を採用した．

レーザ測量で取得した点群は，任意の座標系に基づく位置情報および反射強度を保持する．しかし，輝度（RGB）は，点群と画像との重畳処理が必要なため，測量の用途では必ずしも点に付与するとは限らない．そのため，本研究では，反射強度を 255 で正規化した値を RGB に付与した点群を使用する．

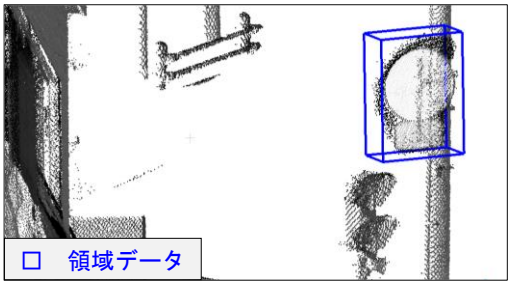
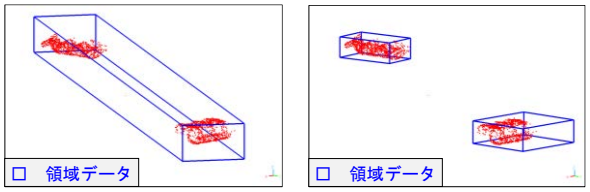


図-1 点群データと領域データの関係



属性値による信号機の抽出　点群データのプロダクトモデル

図-2 識別結果とプロダクトモデルの関係

表-1 HD マップの主な地物

地物型	HD マップの主な地物	領域生成の対象地物
Wall 型	案内標識	道路標識
	警戒標識	
	規制標識	
	指示標識	
	その他標識	
	識別不能標識	
Box 型	信号機（本体）	信号機
	矢印灯	
ライン型	区画線	区画線
	多重区画線	
領域型	規制標示	道路標示
	指示標示	
	その他標示	

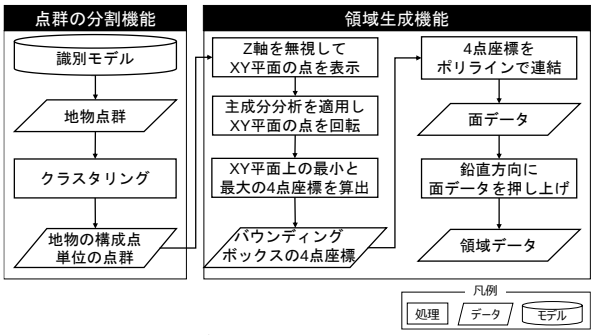


図-3 領域データの自動生成の処理フロー

(4) 提案手法

処理フローを**図-3** に示す．提案手法は，点群の分割機能と領域生成機能で構成される．道路標識と信号機の処理フローは同様の手順であるため，本研究では，信号機を例に領域生成の手順を説明する．

点群の分割機能の処理手順を**図-4** に示す．手順としては，判定区間の点群に構築した識別モデルを用いて，信号機を識別する．そして，CloudCompare

の Label Connected Component でユークリッド距離に基づき識別結果を地物の構成点単位にクラスタリングした点群を出力する．

領域生成機能の手順を**図-5** に示す．まず，点群の分割機能で出力した点群の位置座標を解析し，Z 軸を無視した XY 平面に地物点群を可視化する．次に，主成分分析を XY 平面の点群に適用し，XY 平面の点群を主成分方向に回転させる．ここで，地物点群の形状に適した領域データを生成するため，XY 座標が最小と最大となるバウンディングボックスの 4 点座標を算出する．そして，面データを生成するため，3 次元空間に 4 点座標を可視化し，ポリラインで連結する．最後に，Z 軸の最小と最大の差分を面データの押し上げ高さに設定し，面データを鉛直方向に押し上げて，領域データを生成する．

3. 領域データの生成実験

(1) 実験概要

本実験では，提案手法で生成した領域データの有用性を確認するため，点群に領域データを重畳して地物の抽出精度を検証する．本実験の対象区間は，静岡県の一般道路である御園伊豆仁田停車場線とする．なお，対象区間のデータは，識別モデルの教師データとは異なるデータを採用した．対象区間は，**図-6** に示すとおり，約 50m 四方に 9 基の道路標識と 6 基の信号機が位置する．対象区間に識別モデルを適用すると，道路標識の適合率が 0.94，再現率が 0.92，F 値が 0.93 であり，信号機の適合率が 0.98，再現率が 0.91，F 値が 0.95 であった．いずれの地物でも F 値が 0.90 以上になり，高精度に地物を識別できた．そのため，識別モデルで判定した道路標識および信号機の点群を用いて領域データを生成する．

提案手法による領域データの精度検証では，HD マップから生成した領域データを正解とする．そして，この領域データで抽出した点を「正解の点」とし，「提案手法で抽出した点」との XYZ 座標の一致率を算出する．また，一致率が高いほど領域データと点群との位置関係は近似していると評価する．

(2) 地物の抽出結果及び考察

道路標識や信号機の領域データを点群に重畳した結果と領域データで点群を抽出した結果を**図-6** に示す．正解が赤色の領域データ，提案手法が青色の領域データである．提案手法の領域データに着目すると，正解の形状と同等の領域データが生成できた．

道路標識や信号機の抽出精度を**表-2** に示す．正解点数は，HD マップの領域データで抽出した点，抽出点数は，提案手法の領域データで抽出した点，一致点数は，正解点数と抽出点数において，XYZ 座標列が一致した点である．一致率は，一致点数を正解点数で除して算出した．その結果，道路標識は，一致率の平均が 96.82%，信号機は，一致率の平均が 99.80%であることから，高精度に地物を抽出で

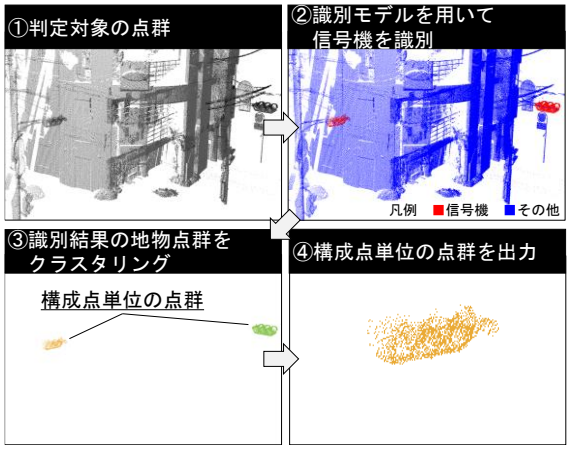


図-4 点群の分割機能の手順

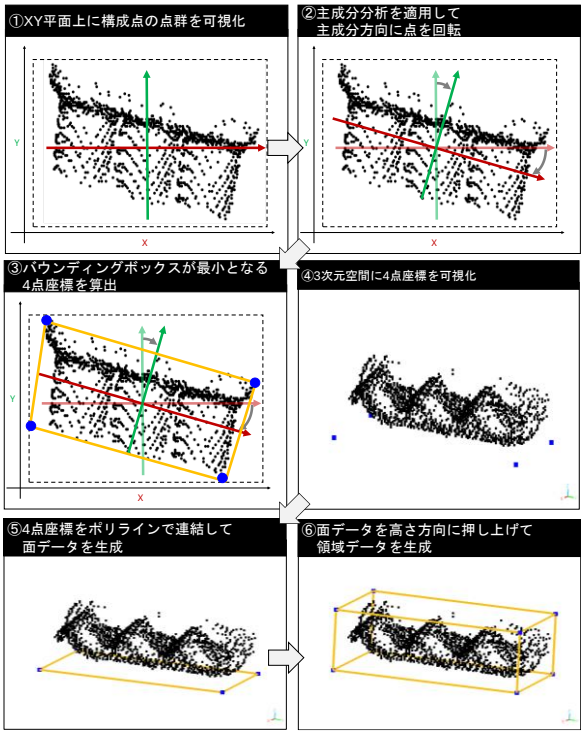


図-5 領域生成機能の手順

きることを確認した．また，領域データで抽出した点の一致率が高いことから，地物点群と領域データの位置関係も近似しているといえる．一方，6 番の道路標識は，一致率が 8 割であり，ほかの地物に比べて一致率が低下した．この要因は，提案手法で生成した領域データが正解の点を内包できないためである．そのため，領域データを生成する際に領域データの幅や奥行の寸法を拡張することで，正解の点を見逃さずに内包できると考えられる．

4. おわりに

本研究では，既存研究で構築した識別モデルを利用し，点群から道路標識や信号機を識別した．そし

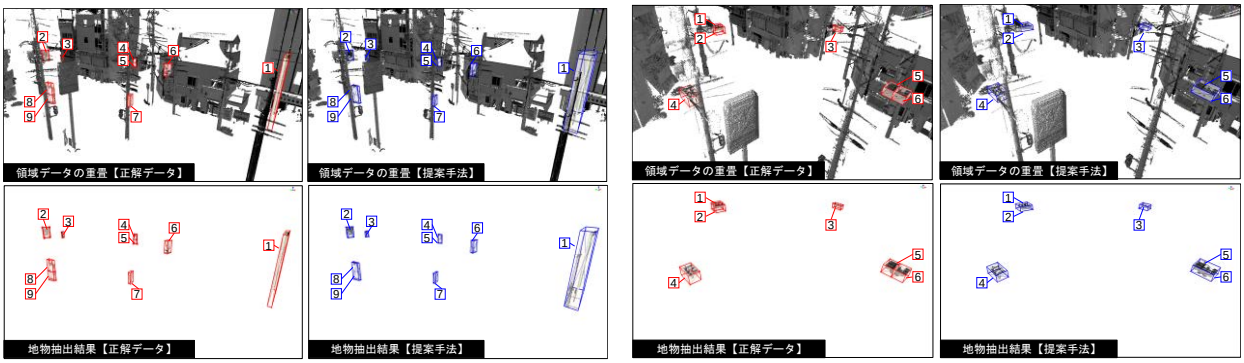


図-6　領域データの重畳および地物抽出の結果

表-2　地物の抽出精度

地物	番号	正解点数[点]	抽出点数[点]	一致点数[点]	一致率[%]
道路標識	1	51,591	59,698	51,591	100.00
	2	5,438	5,969	4,978	91.54
	3	5,600	6,585	5,598	99.96
	4	1,691	3,200	1,687	99.76
	5	1,392	3,200	1,388	99.71
	6	9,855	8,712	8,336	84.59
	7	2,396	2,369	2,358	98.41
	8	1,431	2,950	1,422	99.37
	9	1,351	2,950	1,324	98.00
				一致率の平均	**96.82**
信号機	1	6,185	20,242	6,185	100.00
	2	5,656	20,242	5,656	100.00
	3	2,151	2,260	2,136	99.30
	4	2,305	2,422	2,296	99.61
	5	13,454	25,376	13,453	99.99
	6	10,734	25,376	10,724	99.91
				一致率の平均	**99.80**

て，識別した地物点群の座標点を活用し，領域データが生成できることを明らかにした．この領域生成機能を用いることで，地物の構成点単位の領域データを自動生成できる．そのため，道路図面や道路地図が存在しない区間でも生成した領域データを用いて，地物を抽出できると考えられる．

今後は，地物の点を満遍なく取得するため，領域データの拡張手法を考案するとともに，識別モデルで判定した区画線や道路標示の領域データを自動生成するアルゴリズムを考案する予定である．

謝辞：本研究は，国土交通省の建設技術研究開発助成制度 JPJ000094 の助成を受けたものである．ここに記して深甚なる感謝の意を表する．

参考文献

1) 中村健二，今井 龍一，塚田義典，梅原喜政，田中成典：点群データを用いたプロダクトモデルの実装に関する研究－Semantic Point Cloud Data－，AI・データサイエンス論文集，3 巻 J2 号，pp.870-878，2022.
2) 中村健二，塚田義典，田中成典，梅原喜政，中畑光貴：完成平面図を用いた道路面地物の点群データの抽出に関する研究，知能と情報，32 巻 1 号，pp.616-626，2020.
3) 今井龍一，中村健二，塚田義典，土田直之，山本忍：ダイナミックマップを用いた道路地物の 3 次元空間の領域生成に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），78 巻 2 号，pp.I_93-I_102，2022.
4) 道路分野における点群データの属性管理仕様の検討小委員会：点群データの属性管理仕様【道路編】（案）－第 1.0 版－，＜http://www.nilim.go.jp/lab/qbg/bunya/gis/pdf/zokuseikanrisiryou.pdf＞，（入手 2023.6.12）．
5) 中村健二，今井龍一，塚田義典，梅原喜政，田中成典：点群データの利活用基盤 3D Point Studio の開発，AI・データサイエンス論文集，3 巻 J2 号，pp.854-869，2022.
6) 今井龍一，中村健二，塚田義典，麻生紀子，山本忍：高精度 3 次元地図データを用いた点群データの道路地物の自動識別に関する研究，土木学会論文集 F3（土木情報学），79 巻 22 号，pp.1-12，2023.
7) Boulch, A.：ConvPoint: Continuous convolutions for point cloud processing，*Computers & Graphics*，Vol.88，pp.24-34，2020.