

(45) 点群データのプロダクトモデル化 — Semantic Point Cloud Data の提案 —

中村 健二¹・今井 龍一²・塚田 義典³・梅原 喜政⁴・田中 成典⁵

¹正会員 大阪経済大学教授 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

²正会員 法政大学教授 デザイン工学部 (〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33)

E-mail: ryuichi.imai.73@hosei.ac.jp

³正会員 摂南大学准教授 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

⁴正会員 関西大学特別任命助教 先端科学技術推進機構 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: y.umeha@kansai-u.ac.jp

⁵正会員 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1)

E-mail: tanaka@res.kutc.kansai-u.ac.jp

近年、レーザ計測技術の革新に伴い、道路空間の 3 次元形状を点群データとして取得する手段が多様化している。さらに、i-Construction を契機として、3 次元 CAD データ等のマシンリーダブルなデータの蓄積・流通も進んでいる。このように、様々なデータが蓄積される中、点群データは、現況形状を正確に把握する手段として利用機会が増大しているものの、点が示す地物の情報を保持しないため、用途に即して賢く使うことが難しい。そのため、既存研究では、点群データからの地物識別技術が提案されている。しかし、識別結果や様々なデータを効率的に管理するためのデータ構造は検討されていない。そこで、本研究では、地物情報と点群データを分けて管理する点群データの属性管理仕様と、これを用いた点群データのプロダクトモデル「Semantic Point Cloud Data」を提案する。

Key Words: i-Construction, semantic point cloud data, region data, three-dimension data

1. はじめに

近年のレーザ計測技術の発達は目覚ましく、道路空間の 3 次元形状を点群データとして計測する手段が多様化している。3 次元計測を行うための機器として、Mobile Mapping System (MMS) や、航空レーザ、地上設置型レーザスキャナ (TLS)、UAV レーザ、可搬型レーザ等があり、全国で点群データが計測・蓄積されている。さらに、i-Construction¹⁾を契機として、これらの「点群データ」に加えて、2 次元・3 次元 CAD データや TS 出来形管理データ、基盤地図情報等の「マシンリーダブルなデータ」の蓄積・流通も進んでいる。このように、様々なデータが蓄積される中、点群データは、現況形状を正確に把握する手段として有用であり、点群データの利用機会は確実に増大している。一方、点群データは、空間上の位置を示す膨大な点の集合にすぎず、点が表示する地物や他点との関係情報を保持しないため、用途に即して賢く使うことが難しい。そのため、既存研究では、機械学習等を用いて点群データから地物

を識別する手法²⁾⁴⁾が提案されている。しかし、地物の識別結果と元の点群データ、さらに、マシンリーダブルなデータ等とを関連付けて効率的に管理するためのデータ構造は検討されていない。

そこで、本研究では、点群データの効率的な管理に要求される各種条件を整理し、その要件を満たすデータ構造を提案する。そして、実証実験により、提案内容の実現可否と有効性を確認する。

2. 点群データのプロダクトモデルの提案

計測技術の進歩に伴い、計測手段の多様化に加え、一度の計測で取得可能な点群データの総点数が増大している。本研究では、トレーサビリティの確保とデータ交換の容易性の二つの観点から、大容量の点群データをプロダクトモデル化して効率的に管理するための要件を定め、その要件を満たすデータ管理仕様を提案する。

(1) 要件定義と設計方針

点群データをプロダクトモデル化するためには、単一もしくは複数の構成点に対して、地物の名称や種別、図面または画像を示すリンクアドレス等の属性情報を保持させる必要がある。このとき、次の要件を満たすことが肝要である。

- 要件1. 点に複数の属性情報を効率的に付与できること
- 要件2. 点に付与した属性情報を容易に編集できること
- 要件3. 点が他点との関係性を保持できること
- 要件4. プログラム処理が容易であること
- 要件5. 属性情報のデータ交換が容易であること
- 要件6. トレーサビリティを確保できること

一般に、点に属性値を付与させるためには、X, Y, Z 座標、反射強度等を保持するフィールドと同様のフィールドを新規に追加し、全点に対して数値や文字を設定する。しかし、この方法では、同一点に複数の属性値を付与することが難しく、フィールドを増やす度にデータサイズが肥大化する。特に、属性値を付与する必要の無い点に対してもデータ領域を確保する必要があるため、非効率的である。また、ユーザ毎に属性値の定義方法が異なる上に、点群データ自体に属性値を含めてしまうため、データ交換も容易とはいえない。したがって、上述の要件を満たさない。

そこで、本研究では、点群データとは別のファイルにて、計測日や計測機器等のトレーサビリティに関わる諸情報を保持する点群メタデータと、地物の位置・属性・位相情報を保持する領域データを定義する。そして、これを基本方針として、具体的なデータ構造を設計する。

(2) 点群データのプロダクトモデルの構想

前節の方針に従い、要件定義を満たすためのデータ構造を図-1 に示す。このデータ構造では、1つの点群データに対して、点群メタデータと領域データをそれぞれ1つずつ作成する。点群メタデータと領域データは、XML 形式のテキストファイルとする。

図-1 に示すとおり、地物の位置や名称を複数記録できる領域データを点群データとは別ファイルで定義することにより、要件1と要件2、要件3、要件5を満たす。また、領域データは、他の領域データとの位相情報を保持することにより、要件4を満たす。加えて、計測日や計測機器等の情報を記録できる点群メタデータを点群データと別ファイルで定義することにより、要件6を満たす。

著者らは、図-1 に示すデータ構造を保持する点群データを「Semantic Point Cloud Data」（図-2）と呼称し、BIM/CIM モデルとの連携を考慮しつつ、計画・設計から施工、検査、維持管理までの全ての建設生産プロセスで生じる点群データの利活用を促進する。

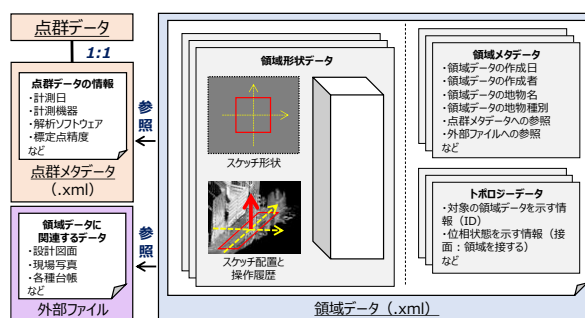


図-1 データ構造

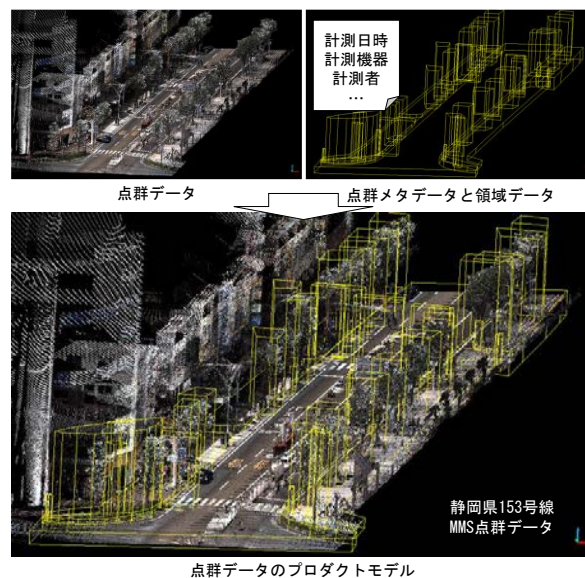


図-2 Semantic Point Cloud Data のイメージ

表-1 点群メタデータの規定項目

項目名	記録内容	必須
計測者	計測者の氏名	○
計測日時	計測の開始日時と終了日時	○
計測機器	計測機器のメーカー名や製品名	○
計測機器の詳細	レーザスキャナ, IMU, GNSS 等の搭載機器の仕様	○
計測方法	走行または飛行高度, 走行または飛行軌跡, 設置位置, カメラ設定等（計測手段により異なる）	○
気候	天気, 湿度, 気温, 風速等	
補正有無	標定点等による補正の有無	○
精度	標定点精度	
使用ソフトウェア	点群データの生成に使用したソフトウェア, 設定パラメータ	
点群データの詳細	点群データが保持する属性情報（フィールド数やレンジ等）	○

(3) 点群メタデータの仕様

点群メタデータは、トレーサビリティの確保のために保持することが強く推奨される情報のみを既定項目として定め、その他の情報はユーザーが任意に拡張可能な仕様とする。規定項目は、点群データの主要なファイル形式である LAS (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing) Ver.1.3 等を

参考に、表-1 に示すとおり定めた。なお、点群メタデータの詳細仕様は参考文献⁵⁾を参照されたい。

(4) 領域データの仕様

領域データは、図-1 に示すとおり、地物の位置情報を示す領域形状データ、領域形状データに対して作成日や地物名等の属性情報を保持する領域メタデータ、そして領域データ間の位相を保持するトポロジーデータで構成される。

a) 領域形状データの仕様

領域形状データは、図-3 に示すとおり、ISO10303 Part108 で定義されるスケッチと、ISO10303 Part 55 および Part 111 で定義される操作履歴とを用いて生成する。

スケッチとは、3次元形状を生成するための2次元断面（底面）のことである。したがって、スケッチは、任意平面を示す情報と幾何要素を保持する。任意平面を示す情報とは、平面を定義するために必要な原点と直交する2軸方向を示す値である。これらの値をスケッチが保持することで、任意のスケッチを3次元空間上に配置できる。本仕様におけるスケッチ上に配置できる幾何要素は、矩形、円形、折線の3種類（図-4）とする。矩形は、全ての角が直角となる四辺形であり、4点の座標で定義する。円は、定点からの距離が等しい曲線であり、中心座標と半径で定義する。折線は、線分の集合であり、頂点数分の座標で定義する。ただし、開始点と終了点を接続した閉じた矩形に限定する。これらの幾何要素の形状を定義するパラメータは、SXF⁹⁾を参考とする。また、本仕様におけるスケッチの3次元空間上への配置方法は、水平配置、垂直配置、自由配置の3種類とする。水平配置とは、スケッチ平面の軸を配置先座標系の軸に合わせ、地表面に平行となるように設置することである。垂直配置とは、スケッチ平面の軸を配置先座標系の軸に合わせ、地表面と垂直になるように設置することである。配置点の3次元座標、X軸とY軸方向ベクトルで定義する。自由配置とは、スケッチ平面を配置先座標系に自由な向きで設置することである。いずれも、配置点の3次元座標、X軸とY軸の方向ベクトルで定義する。

操作履歴とは、ISO10303 Part55 および Part111 の定義を参考とし、3次元の領域形状データを生成するために、スケッチに行う操作及びその順序のことである。本仕様の操作履歴は、押し出しとスイープの2種類（図-5）とする。押し出し（図-5 上）とは、スケッチ上で表現された底面形状を押し出すことで領域を生成するための操作である。本操作では、任意に押し出し情報（押し出し方向と押し出し量）を設定可能とする。スイープ（図-5 下）とは、スケッチ上で表現された底面形状を掃引することにより領域を生成するための操作である。本操作では、折線の幾何要素を使用して、任意に掃引情報を設定可能とする。

b) 領域メタデータの仕様

領域メタデータは、表-2 に示すとおり、領域形状データの作成者や作成日、地物種別や詳細度を保持

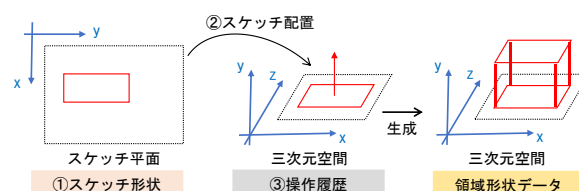


図-3 領域形状データの生成フロー

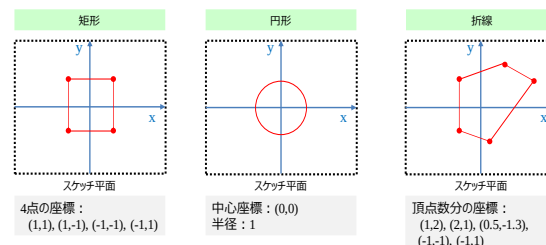


図-4 スケッチ上に配置できる幾何要素

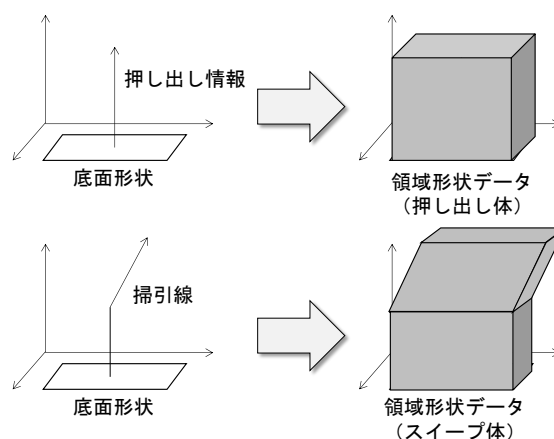


図-5 スケッチ上の幾何要素に対する操作履歴

表-2 領域メタデータの項目

項目名	記録内容	必須
作成者	領域形状データの作成者の氏名	○
作成日	領域形状データの作成日	○
地物種別	設計基準情報、道路面地物、道路面と領域を共有する地物、道路面以外の地物、道路支持地物を示す定数	○
詳細度	地物の詳細度レベル（3段階）	○
データ種別	項目「データ内容」の文字列が画像、図面、テキスト、その他のいずれかを識別するための定数	
データ内容	URL や参照パス等の文字列	

する。また、領域形状データに対して、画像や図面等を示す情報を複数個保持できる。これらの情報は、データ種別とデータ内容の項目で保持する。なお、地物種別や詳細度の定数仕様は、参考文献⁵⁾を参照されたい。

c) トポロジーデータの仕様

トポロジーデータとは、ISO10303 Part42 に定義されている Topology と同様の意味をなし、領域形状データ間の接する・含むといった関連性（図-6）のことである。一般に、頂点、稜線、面の位相要素

で定義されるが、本仕様における位相要素は、異なる地物を示す領域形状データ間が接していることを示す「接領域」のみを定義する。位相を保持することで、道路に接する全オブジェクトを一括で検索・取得することが可能となる。

3. 点群データのプロダクトモデルの試作

本実験では、無償で利用可能な 3D Point Studio⁷⁾ を使用して、MMS より取得した北海道札幌市市街地の点群データ (6,860,310 点) を対象に、点群データのプロダクトモデルを試作した。対象地物は、標識柱、照明柱、樹木の 3 種類とした。実験には、CPU に Intel Core i7、GPU に GeForce GT560M、メモリ 16GB を搭載したノートパソコンを使用する。試作結果を図-7 に示す。図-7 左上に示すとおり、点群データと領域データとを重畳して表示することで、目的地物へのダイレクトアクセスや現場写真の関連付けが可能であることを確認した。さらに、試作した領域データを用いて地物単位の点群データを抽出できることを確認した。所要時間は、表-3 に示すとおり、標識柱 6 個 (12,223 点) の抽出に約 1.58 秒、照明柱 11 個 (34,157 点) の抽出に約 2.68 秒、樹木 43 個 (135,427 点) の抽出に約 9.80 秒であった。そのため、道路地物単位に抽出した点群データを別途保持する必要なく、必要な地物のみを必要な時に高速に抽出できることがわかった。

以上より、領域データを用いることで、元の点群データを一切編集すること無しに点群データのプロダクトモデルを生成でき、効率的なデータ管理が実現できることが示唆された。

4. おわりに

本研究では、i-Construction の深化に寄与する点群データの効率的な管理手法を開発するため、新たに点群データのプロダクトモデル「Semantic Point Cloud Data」を提案した。本研究の一部は、点群データの属性管理仕様【道路編】(案)⁵⁾として、国土技術政策総合研究所のホームページにて公開中である。CIM・i-Construction の推進により、今後もマシンリーダブルなデータが着実に蓄積されることを見据えると、点群データを簡便かつ賢く扱うための仕組みづくりが必須といえる。今後は、同仕様と同仕様に準拠したソフトウェアの開発をととして、研究成果の社会実装と普及促進を図る予定である。

謝辞：本研究の遂行にあたり、一般財団法人日本建設情報総合センター社会基盤情報標準化委員会、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への参画者各位、そして国土交通省国土技術政策総合研究所より支援を賜った。ここに記して感謝の意を表する。

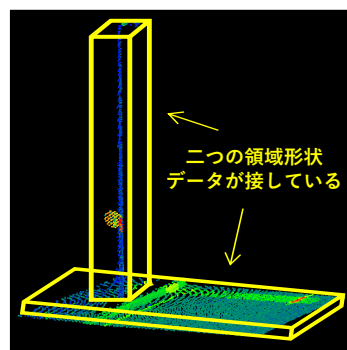


図-6 トポロジーデータ

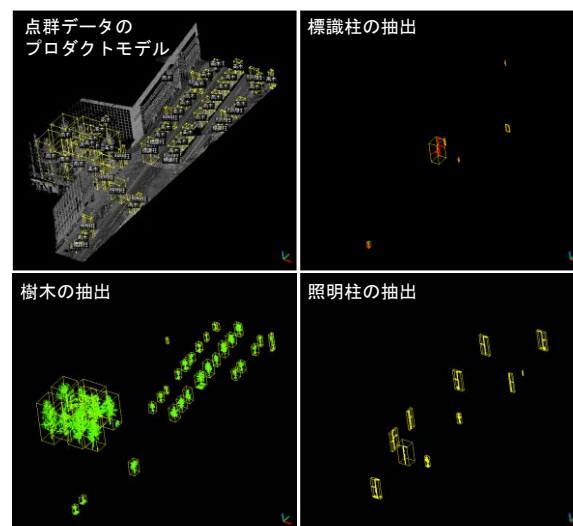


図-7 領域データを用いた地物単位の点群データの抽出

参考文献

- 1) 国土交通省：i-Construction, <<https://www.mlit.go.jp/t ec/i-construction/index.html>>, (入手 2021.6.14) .
- 2) 今村一紀, 佐田達典, 江村央：MMS による 3 次元点群データを用いた道路構造物抽出に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.72, No.2, pp.1106-1113, 2015.
- 3) 梅原喜政, 塚田義典, 中村健二, 田中成典, 中畑光貴：幾何特徴に基づいた点群データから道路地物の識別に関する一考察, 情報処理学会論文誌, Vol.62, No.5, pp.1218-1233, 2021.
- 4) Umehara, Y., Tsukada, Y., Nakamura, K., Tanaka, S. and Nakahata, K. : Research on Identification of Road Features from Point Cloud Data Using Deep Learning, *International Journal of Automation Technology*, Vol.15, No.3, p.274-289, 2021.
- 5) 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/standards/standards.html#zokuseikanri>>, (入手 2021.6.14) .
- 6) 国土交通省：SXF Ver 3.1 仕様書・同解説 (第 2 版), 2009.
- 7) Intelligent Style 社：3D Point Studio, <<http://www.poin tstudio.jp>>, (入手 2021.6.14) .