

# 基盤地図情報と航空レーザを用いた CityGML 形式の三次元都市モデルの生成に関する研究

郝天宇<sup>1</sup> 北山耕平<sup>1</sup> 三島直也<sup>1</sup> 碓崎賢一<sup>2</sup> 荒木俊輔<sup>2</sup>

**概要:** 三次元地理モデルの記述、表示に関する国際標準である CityGML が注目されている。三次元都市モデルの作成には広範囲のデータ収集に時間やコストがかかり、また多数のモデル作成自体にも時間がかかるという問題点に対し、我々は、基盤地図情報の建物外周線情報と航空レーザ測量データを利用して CityGML 形式の LoD1 モデルを自動的に作成する手法の検討を行った。Cesium プラットフォームで生成した都市モデルを三次元地図として表示して活用した。

**キーワード:** CityGML, 基盤地図情報, 航空レーザ測量データ

## Research on Generation of CityGML Format 3D City Model using Base Map Information and Airborne Laser Scanning Data

Tianyu HAO<sup>†1</sup> Kohei KITAYAMA<sup>†1</sup> Naoya MISHIMA<sup>†1</sup>  
Ken'ichi KAKIZAKI<sup>†2</sup> Shunsuke ARAKI<sup>†2</sup>

**Abstract:** CityGML, an international standard for describing and displaying three-dimensional geographic models, has attracted attention. To create a three-dimensional city model, it takes time and cost to collect a wide range of data, and it takes time to create a large number of models. A method to automatically create a CityGML-format LoD1 model using base map information and airborne laser scanning data was studied. The city model generated on the Cesium platform was displayed and used as a three-dimensional map.

**Keywords:** CityGML, Base map information, Airborne laser scanning data

### 1. はじめに

都市計画や災害時のシミュレーション等において、可視化や分析を行うための三次元都市モデルの需要が高まっている。地理空間情報分野における国際的な標準化団体である OGC (Open Geospatial Consortium) は、三次元都市モデルを記述、管理するためのフォーマットとして CityGML を策定した。そこで現在、国際標準規格である CityGML の整備が世界的に進められている。

CityGML の特徴として、都市全域の地物の幾何情報に加え意味情報が記述できることと LoD の機能が挙げられる。LoD (Level of Detail) とは対象の詳細度を表し、CG の分野においてはコンピュータへの負荷を軽減し描画速度を高速化するための技術として一般的である。一方、CityGML における LoD は地物の意味情報を考慮して設計されており、モデルの利用者は用途に適した詳細度のモデルを利用することができる。そして、モデルの作成者は保有しているデータの量やモデル作成能力に応じてモデルを作成する

ことができる。

CityGML では都市を表現するために、地形、道路、建物、川、橋といった様々な地物を記述することができる。これらのモデリングを手作業で行う場合、膨大な時間と作業量が必要となる。そこで本研究では、建物を対象に CityGML 形式のモデルを自動生成することを目的とした。本稿では LoD1 相当の建物モデルを自動生成する手法について提案する。

### 2. CityGML 形式の建物モデル

#### 2.1 LoD (Level of Detail)

CityGML における LoD は LoD0 から LoD4 までの 5 段階あり、各々の地物を重要度に合わせてレベル (詳細度) を変えて表示できる。図 1 [2] に LoD0 から LoD4 までの建物モデルの例を示す。LoD0 は最も粗い広域地図レベルで、建物は 2 次元平面で表される。LoD1 は都市全体レベルで、建物は平面形状に加え壁面と水平な屋根を備えたモデルである。LoD2 以上の建物は詳細な 3D 地図として記述される。LoD2 では大まかな建物の外観、LoD3 では窓等の開口部を含む詳細な建物形状を記述する。LoD4 は最も詳細な屋内地図レベルで、建物の内部構造まで記述する。したがって、建物モデルを生成するための情報が多くなればなるほど高いレベルのモデルを生成することができる。

<sup>1</sup> 九州工業大学大学院情報工学府  
Graduate School of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu  
Institute of Technology  
<sup>2</sup> 九州工業大学大学院情報工学研究院  
Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of  
Technology

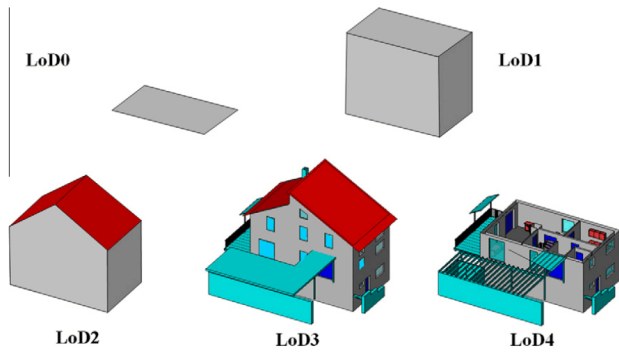


図 1 CityGML における LoD 構造

## 2.2 LoD1 の建物モデルの記述

CityGML は、XML ベースのフォーマットとして定義されており、建物モデルにおいては建物の幾何情報と意味情報を記述する。幾何情報とは建物の位置や外形の情報であり、意味情報とは建物の名称や種類といったモデル形状以外の情報である。以下(図 2, 図 3)に LoD1 建物モデルのコード記述例の一部を示す。また、記述に関して主要なタグを表 1, 表 2 に示す。

```
<cityObjectMember>
<bldg:Building gml:id="47094-11805-s-12015">
.....
<gml:description>普通建物</gml:description>
<gml:name>47094-11805-s-12015</gml:name>
.....
</bldg:Building>
</cityObjectMember>
```

図 2 LoD1 建物モデルの意味情報記述例

表 1 建物の意味情報に関するタグ

タグ	説明
<cityObjectMember>	CityGML モデルを記述
<bldg:Building>	建物情報を記述
<gml:name>	建物の名前
<gml:id>	建物の ID
<gml:description>	建物に関する説明

```
.....
<bldg:measuredHeight
uom="#m">6.51769</bldg:measuredHeight>
.....
<bldg:lod1Solid>
<gml:Solid>
.....
```

```
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>457842 5439083 111.8 457842 5439093 111.8
457854 5439093 111.8 457854 5439083 111.8 457842 5439083
111.8 </gml:posList>
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
<gml:interior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList>457846 5439086 111.8 457846 5439090 111.8
457850 5439090 111.8 457850 5439086 111.8 457846 5439086
111.8 </gml:posList>
</gml:LinearRing>
</gml:interior>
</gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
<gml:surfaceMember>
<gml:Polygon>
<gml:exterior>
<gml:LinearRing>
<gml:posList srsDimension="3">457842 5439093 111.8
457842 5439093 118.31769 457854 5439093 118.31769
457854 5439093 111.8 457842 5439093 111.8 </gml:posList>
</gml:LinearRing>
</gml:exterior>
<gml:Polygon>
</gml:surfaceMember>
.....
</gml:Solid>
</bldg:lod1Solid>
```

図 3 LoD1 建物モデルの幾何情報記述例

表 2 建物の幾何情報に関するタグ

タグ	説明
<bldg:measuredHeight>	高さ情報
<bldg:lod1Solid>	LoD とモデル種類
<gml:surfaceMember>	建物の面情報追加
<gml:exterior>	面の外周線
<gml:interior>	面の内周線
<gml:posList>	建物面の座標リスト

表 2 に示すように、LoD1 の建物モデルにおける幾何情報として建物の外周線と高さの情報が必要となる。その情報を座標リストとして<gml:posList>タグに記述することで LoD1 の建物モデルが生成される。次章では LoD1 の建物モ

デルを自動生成するための情報の取得方法と記述方法について説明する。

### 3. LoD1 建物モデルの自動生成方法

#### 3.1 モデル作成に必要な情報

LoD1 建物モデルは、建物の平面形状に高さ情報が付与された抽象的な3次元モデルである。各モデルには建物の外形や位置を表す幾何情報のみならず意味情報も含まれる。この LoD1 建物モデルを自動作成するためには、以下の情報が必要となる。

- 建物の位置情報
- 建物の外周形状
- 建物の高さ
- 建物の意味情報

建物の位置情報、外周形状、意味情報に関しては国土地理院が提供する基盤地図情報から取得することができる。まずは、基盤地図情報から取得したこれらの情報を用いて LoD0 の建物モデルを生成した。詳細は 3.2 節で説明する。LoD0 の建物モデルは2次元の平面モデルであり、LoD1 建物モデルに高さ情報を追加することで LoD1 の建物モデルを生成できる。3.3 節に、航空レーザ測量データを利用して建物ごとの高さ情報を抽出し、LoD1 建物モデルを作成する手法について説明する。

#### 3.2 基盤地図情報からの建物情報取得

##### 3.2.1 基盤地図情報

基盤地図情報とは、国土交通省国土地理院の発行した日本国内の電子地図の位置基準となる情報である。基盤地図情報の整備項目は測量の基準点、建物の外周線、水涯線、道路縁、行政区画などの13項目ある。この中で、建物の外周線を利用することで建物の平面的な形状情報と位置情報を取得できる。また、建物の名称や種類といった意味情報も取得することができる。基盤地図情報における建物外周線のみを表示したものを図4に示す。図4は建物の種類によって色分けしており、緑色は普通建物、黄色は堅牢建物を表している。

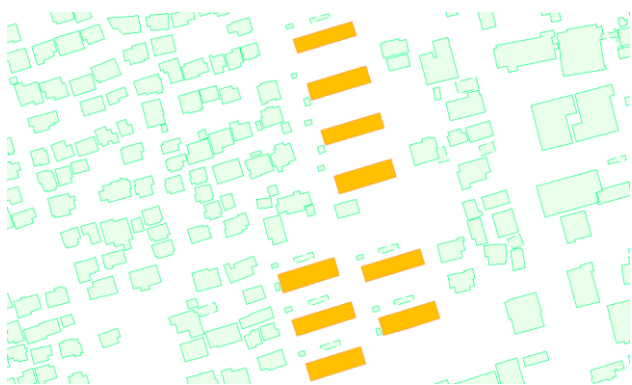


図4 基盤地図情報の建物外周線

また、基盤地図情報は図5に示すようにXMLベースで記述されている。建物情報に関する主要なタグを表3に示す。

```
<BldA gml:id="K17_5035512810_214">
<fid>20190906-50370-12837-s-2944</fid>
.....
<area>
<gml:PolygonPatch>
<gml:exterior>
<gml:Ring>
<gml:curveMember>
.....
<gml:posList>
35.661225709 139.91727336
35.661287501 139.917205277
35.661151792 139.917020463
35.661139975 139.917033483
35.661025609 139.916877851
35.660538763 139.91741501
35.660788837 139.917755345
35.660854056 139.917683401
35.661225709 139.91727336
</gml:posList>
.....
</gml:curveMember>
</gml:Ring>
</gml:exterior>
</gml:PolygonPatch>
.....
</area>
<type>普通建物</type>
<name>三菱ふそうトラック・バス南関東ふそう</name>
</BldA>
```

図5 基盤地図情報の建物外周線に関する記述例

表3 基盤地図情報における建物情報に関するタグ

タグ	説明
<BldA>	建物の識別
<fid>	地物のID
<area>	建物の面情報
<gml:curveMember>	内・外周線情報を記述
<gml:exterior>	外周線
<gml:interior>	内周線
<gml:posList>	外周線頂点座標リスト
<name>	建物の名前
<type>	建物の種類

### 3.2.2 建物情報の取得・管理

基盤地図情報は図郭ごとにファイルが分割されており、1つのファイルには1つの図郭に含まれる建物情報がすべて含まれている。したがって、建物情報を取得するには1棟ごとに情報を整理する必要がある。そこで、1棟の建物情報を管理するため、建物の外周線を表す頂点リスト、識別子、種類といった情報をフィールドとした建物クラスを作成する。基盤地図情報からXMLパーサを利用して表3に示した情報を抽出し、建物クラスにデータを格納する。そして、全ての建物情報を建物クラスのリストとして管理することで建物のデータベースを作成することができる。

この時点で建物データベースに格納された建物情報を利用することで、LoD0の建物モデルを作成することができる。建物の種類、識別子、名称といった意味情報は表1に示したタグを、外周形状情報は表2に示したタグを用いることでCityGML形式に変換することができる。これによって基本的な建物LoD0モデルを作成することができる。

### 3.3 航空レーザ測量データからの高さ情報の取得

#### 3.3.1 LoD1の建物モデルの生成

LoD0の建物モデルに高さ情報を付与することでLoD1の建物モデルを生成することができる。本研究では航空レーザ測量データから建物ごとの高さ情報を抽出した。

航空レーザ測量データの例を図6に示す。データは三次元点群形式であり、図6に示すように一棟ごとの建物形状を確認することができ、このデータから建物の大まかな高さ情報を取得することが期待できる。信頼性の高い建物の高さ情報を取得するため、次のような手順で建物の高さを算出した。

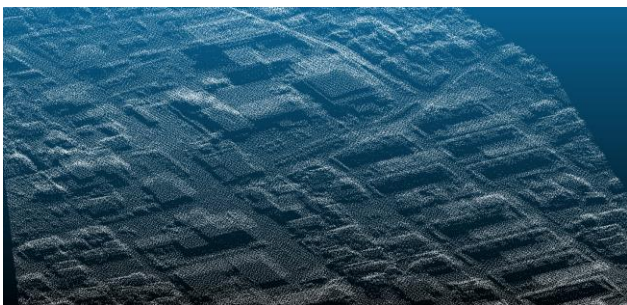


図6 航空レーザ測量データの例

#### (1) 建物一棟ごとの点群データの抽出

航空レーザ測量データの点群は建物だけでなく、地上の様々な地物が含まれている。建物ごとの高さ情報を抽出するためには、広域の点群から建物一棟ごとの点群を抽出する必要がある。そのためには建物の位置と外形情報が必要である。それらの情報は基盤地図情報から取得することができるが、基盤地図情報と航空レーザ測量データでは座標系が異なるため座標系の変換が必要となる。基盤地図情報では経緯度を扱う世界測地系が用いられており、航空レーザ測量データは日本の直角平面座標系が用いられている。

ここでは三次元都市モデルを地図上で表示するため、PROJ[10]という座標変換ライブラリを用い、点群データを直角平面座標系から経緯度に変換した。

点群データの座標系を基盤地図情報の座標系に変換した後は、基盤地図情報における建物の外周線の内部に存在する航空レーザ点群を抽出することで建物部分のみの点群データとそれ以外の部分に分割することができる。以上の手法で図6に示したデータから建物部分のみを抽出した点群データを図7に示す。

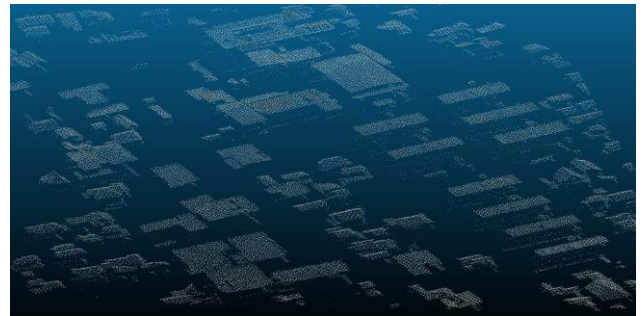


図7 抽出した建物の点群データ

#### (2) 高さ情報の取得と追加

航空レーザ点群ではZ座標がその地点における高さを表している。すなわち、建物の屋根部分のZ座標と地表面のZ座標の差分をとることで、建物の高さ情報を取得することができる。ここで、建物の屋根部分のZ座標を取得する際には、航空レーザの計測誤差や座標系の変換誤差などを考慮する必要がある。抽出した建物の点群データは屋根部分だけでなく、壁面や地面もわずかに残っており、場合によっては屋根の上部に建物以外の点群が含まれていることもある。一棟ごとに分割する前の建物とその周辺の点群を図8に示す。建物の横に大きな木が存在した場合、図8のように枝葉が屋根の上部にまで伸び、ノイズのように点群が分布する。建物以外の点群が一切含まれないデータであれば、建物の点群データにおけるZ座標の最大値や平均値を屋根部分のZ座標とみなすことができる。しかしながら建物以外の点群により、Z座標の最大値や平均値では建物の高さ情報を安定して取得することができない。そこで本研究では建物点群におけるZ座標の中央値を使用した。

建物点群には建物の屋根部分以外にも地面や周辺地物等が含まれているが、割合としては屋根部分の点群が最も多く、少なくとも5割以上は屋根部分の点群であると考えられる。このとき、Z座標の中央値は必ず屋根部分のいずれかの箇所のZ座標となり、建物以外の点群に影響されことなく安定して建物の屋根部分のZ座標を取得することができる。図8のデータから基盤地図情報を用いて抽出した建物点群を水平方向から見た図を図8に示す。図8のように屋根の上部に木の点群の一部が存在する場合でも、Z座標(高さ)の中央値によって屋根の高さを安定して取得することができる。



図 8 水平方向から見た建物とその周辺の点群

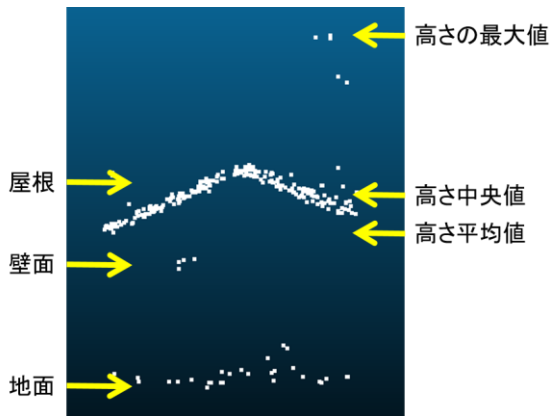


図 9 水平方向から見た建物点群

3.2 節で作成した LoD0 の建物モデルに対し、取得した高さ情報を追加することで LoD1 の建物モデルとすることができる。

### 3.3.2 建物を構成する面の法線方向

LoD1 の建物モデルを生成するためには、建物を構成する接地面、壁面、屋根面を頂点のリストとして記述する必要がある。図 10 に示すように、頂点の記述順序によって面の法線方向が決定し、始点と終点を一致させる必要がある。例えば図 10 の左に示す面において、頂点 A', B', C', D', A' の順に頂点リストを記述することで法線方向が上向きとなる。逆に図 10 の右に示す面のように、頂点 A, D, C, B, A の順に頂点リストを記述することで法線方向が下向きとなる。面は法線方向からのみ見ることができるため、建物を構成する各面の法線は建物の外側を向く必要がある。したがって、屋根面は図 10 の左に示すように、接地面は図 10 の右に示すように記述する。

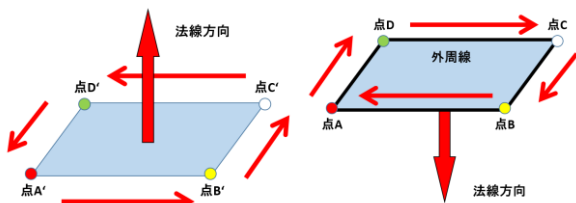


図 10 頂点の順序と面の法線方向

壁面に関しても同様に、面が建物の外側を向くように左回りで頂点を記述する。すなわち、図 11 において法線方向を手前側とするには、頂点 A, B, B', A', A の順序で記述する。

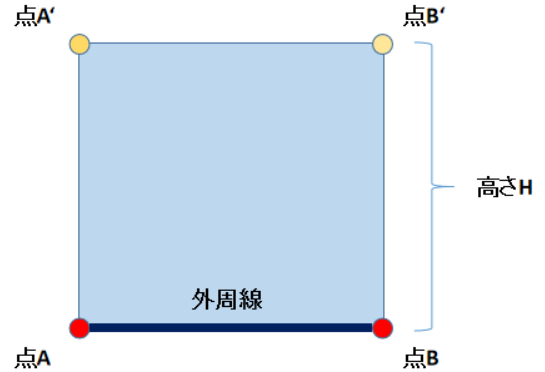


図 11 壁面の作成

### 3.3.3 内周線情報

外周線と高さ情報のみから構成される基本的な LoD1 建物モデルに関してはここまでの手順で作成可能であるが、中庭といった建物の内側に空間のある構造の建物に関しては、建物の内周線情報を記述することで対応する。図 12 に内周線情報を含んだ LoD1 モデルを示す。屋根面に内周線を記述し、内壁面を建物の内部構造として記述する。

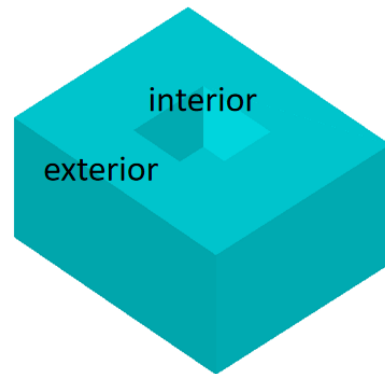


図 12 内周線情報を含んだ LoD1 モデル

## 4. 都市モデルの表示

三次元都市モデルを活用する GIS 機能を実現するため、生成した三次元都市モデルを地図上で表示することにより、三次元地図を作成した。

本稿では Cesium というオープンソースのマップエンジンを利用し、生成した建物モデルを地図上にマッピングした結果を示す。Cesium は WebGL を用いたライブラリであり、三次元地図を描画することができる。また、三次元オブジェクトを表示することができるため、作成した建物モデルを地図上に表示することができる。

Cesium は多様な地図データを利用でき、例えば Google Earth で使用されている KML 形式のデータの表示を地球儀のような三次元地図上で行える。しかし CityGML 形式はそのまま表示することはできず、Cesium の三次元データ管理規格である 3D Tiles 形式に変換する必要がある。3D Tiles 形式を利用すると、大量のモデルを効率的に表示できる。変換には citygml-to-3dtiles というライブラリを利用した。生成した建物モデルを Cesium で描画した結果を図 13 に示す。図 13 を見ると、地図上の正確な位置に建物モデルが表示され、各建物の高さも表現されていることが分かる。

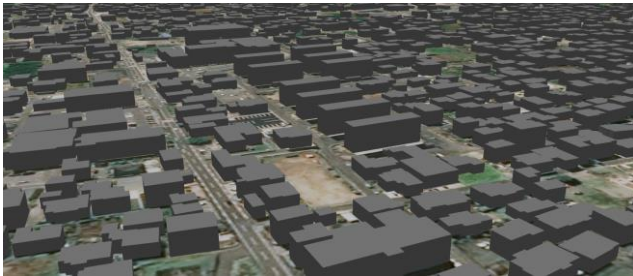


図 13 Cesium での生成した建物モデルの表示

各建物モデルには意味情報も含まれているため、意味情報を利用して可視化を行うことができる。一例として、建物の種類により色分けを行った。普通建物をグレー、堅牢建物を赤で色分けしたものを図 14 に示す。また、任意の建物モデルを選択すると、画面の右上部に図 15 のような選択された建物の意味情報が表示される。

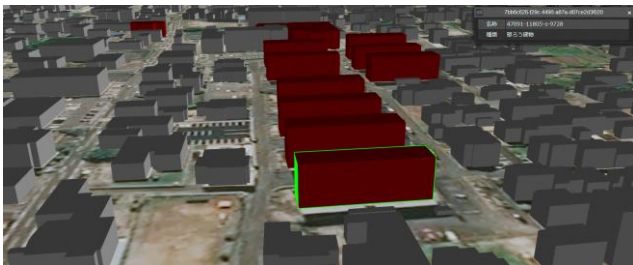


図 14 建物種類による色分け表示

名称	47091-11805-s-9728
種類	堅ろう建物

図 15 選択された建物の意味情報表示

## 5. おわりに

本稿では、基盤地図情報と航空レーザ測量データを用いた CityGML における LoD1 の建物モデルの自動生成手法を提案した。基盤地図情報から取得した建物ごとの外周線情報と意味情報を利用して LoD0 の建物モデルを生成し、航空レーザ測量データから取得した建物の高さ情報を付与することで LoD1 の建物モデルを生成することができた。また、生成した LoD1 の建物モデルをオープンソースの三次

元地図ビューワである Cesium を用いて三次元地図上に描画し、モデルの有用性を確認した。

本研究の目的は CityGML 形式の建物モデルを自動生成することであるため、今後は LoD2 以上の建物モデルの自動生成手法を考案していく。本稿では建物の高さ情報を取得するために航空レーザ測量データを利用したが、航空レーザデータでは高さ情報だけでなく屋根等の形状も取得できるため、LoD2 以上のモデルを生成できる可能性がある。しかしながら、航空レーザ測量では広範囲の点群データを取得できる一方、建物一棟に注目した際の点群の密度や精度はそれ程高くない。そこで、航空レーザ測量データからどれ程の精度で LoD2 モデルを生成できるのか実験を行っていく。

## 参考文献

- [1] 石丸 伸裕.3 次元地理空間データ CityGML / IndoorGML に関する国際標準化活動. 特集:3 次元地理空間情報の展望.「地図」 Vol.52 No.3 201.
- [2] Gerhard Gröger,Lutz Plümer. CityGML – Interoperable semantic 3D city models. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 71 (2012) 12–33.
- [3] “CityGML | OGC”.  
<https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>, (参照 2020-02-24).
- [4] “OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard”. <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>, (参照 2020-02-24).
- [5] “CityGML UML diagrams - CityGML Wiki”.  
[http://www.citygmlwiki.org/images/8/8d/CityGML\\_1\\_0\\_0\\_UML\\_diagrams.pdf](http://www.citygmlwiki.org/images/8/8d/CityGML_1_0_0_UML_diagrams.pdf), (参照 2020-02-24).
- [6] “基盤地図情報とは”. <https://www.gsi.go.jp/kiban/towa.html>, (参照 2020-02-24).
- [7] “わかりやすい平面直角座標系”.  
<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/jpc.html>, (参照 2020-02-24).
- [8] “航空レーザ計測”.  
<https://www.ajiko.co.jp/products/detail/?id=14417>, (参照 2020-02-24).
- [9] “国土数値情報 ダウンロードサービス”.  
<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>, (参照 2020-02-24).
- [10]“proj4js”.<https://cdnjs.com/libraries/proj4js>, (参照 2020-03-02).
- [11] “3D Tiles Clipping Planes”.  
<https://sandcastle.cesium.com/index.html?src=3D%20Tiles%20Feature%20Picking.html>, (参照 2020-02-24).