

## I-21 立面点群データにおける車道空間の属性分析

## Attribute analysis of elevation point cloud data in the road space

小林一郎<sup>1</sup>・宮下征士<sup>2</sup>・藤田陽一<sup>3</sup>・高尾篤志<sup>4</sup>

Ichiro KOBAYASHI, Masashi MIYASITA, Yoichi FUJITA, and Atsushi TAKAO

**抄録**：測量機器の発達に伴い、3次元点群データを容易に取得できるようになっている。しかし、①データ量が膨大であり加工に労力がかかる、②点データに属性がなく樹木のみを取り出すといった作業が困難である、③用途が定まっておらずコスト面での割高感が解消されていない、など課題も少なくない。本論文では、高精度の道路空間の立面情報を取得できる MMS や固定式レーザのデータについて、路面データの属性分析手法を提案する。なお、本手法は 3次元位置情報のみでの分析を行うため、立面計測に優れた計測機器であれば、すべてに適用可能である。点群の車道空間から道路を推定することで、車や架線等の属性が判別され、除去や 3D-CAD へのオブジェクト化が可能とする。

**Abstract**: With the development of measurement equipment, it becomes easy to acquire point cloud data. However point cloud data have several problems as follows: 1) Because the number of observed points is very huge, data processing takes many times. 2) We cannot distinguish an attribute on the road such as automobile, trees, etc. 3) Laser measurement is generally so expensive that we have few opportunities to take advantage of. This paper proposes a method of attribute analysis for road data measured by MMS and fixed laser measurement equipment. This method enables attributes distinction and objecting with 3D-CAD.

**キーワード**： 立面点群データ, 属性分析, 車道空間

**Keywords** : elevation point cloud data, attribute analysis, road space

## 1. 序論

測量機器の発達に伴い、航空レーザ、MMS (Mobile Mapping System: 以下、MMS)、固定式レーザ等、3次元点群データを容易に取得できるようになっている。しかし、①データ量が膨大であり加工に労力がかかる、②点データに属性がなく樹木のみを取り出すといった作業が困難である、③用途が定まっておらずコスト面での割高感が解消されていない、など課題も少なくない。

筆者らのグループは、属性判別についての基本的な考えを提示し<sup>1)</sup>、洪水時の避難経路用道路網を作成する手法<sup>2)</sup>や山岳地帯の路面分析融雪設備計画への利用法<sup>3)</sup>を提案した。また、MMS データについては、視距改良設計<sup>4)</sup>への適用の可能性を示した。

計測した点群データを 3次元 CAD に読み込むことで、簡易的な道路形状は作成可能である。しかし、構造的特徴から道路作成を行っていないため、道路線形等の詳細な道路情報が取得できず、設計等への利用が困難である。

計測手法によって異なるが、点群データは 3次元位置

情報(x, y, z)以外に様々な情報を保持している。例えば、MMS では色情報(RGB)データや走行軌跡データといった情報を保持しており、これらのデータを用いることでも路面データの解析は可能である。しかしここでは、全ての形式の点群データへの適用を考慮し、最も基本的な情報である 3次元位置情報のみでの分析を行い、RGB データや走行軌跡データは利用しない。

本論文では、高精度の道路空間の立面情報を取得できる MMS や固定式レーザのデータについて、路面データの属性分析手法を提案する。なお、本手法は立面計測に優れた計測機器であれば、すべてに適用可能であるが、主として MMS データに絞ってまとめることとした。

第 2 章では、点群データと道路空間について述べる。第 3 章では、帯状の道路のみを抽出する手順を示す。第 4 章では、帯状の細長い面の中心の線を推定した。この線を道路設計における縦断線とみなすこととする。以上より、帯状の面を道路として推定することで、路面上の車あるいは路面上空の架線等の属性が判別され、除去や 3D-CAD へのオブジェクト化が可能となる。第 5 章では、3本の道路データへの適用例を示し、考察を加えた。

1 : 正会員 工博 熊本大学大学院 教授 自然科学研究科

(〒860-0855 熊本県熊本市黒髪 2 丁目 39-1, Tel : 096-342-3531, E-mail : ponts@gpo.kumamoto-u.ac.jp)

2 : 正会員 修士(工) (株)ウエスコ 地理情報事業部 情報システム課 課長代理

(Tel:086-254-2892, E-mail : m-miyashita@wesco.co.jp)

3 : 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (Tel: 096-342-3531, E-mail : 100d8847@st.kumamoto-u.ac.jp)

4 : 学生会員 熊本大学大学院 自然科学研究科 博士前期課程 (Tel: 096-342-3531, E-mail : 099d8818@st.kumamoto-u.ac.jp)

## 2. 点群データの概要と課題

### (1) データ概要

点群データを計測手法の違いで、平面点群データと立面点群データに分類する。XY 平面方向と比べ、Z 方向の精度が劣るものを平面点群と呼び、Z 方向の精度が高いものを立面点群と呼ぶことにする。

#### a) 平面点群データ

航空レーザ測量や航空写真測量等によって取得されるデータである(図-1)。広範囲にわたり面的なデータが存在し、地形の表現等に適している。3次元地形データを航空写真と組み合わせ、電子地図等に利用されている。しかし、平面的であるためZ方向の精度が低く、河川堤防の正確な高さなどは取得できていない。

#### b) 立面点群データ

固定式レーザ測量や MMS<sup>5)</sup>等によって取得される詳細な高さ情報をもった点群データである(図-2)。測量機器の性質上、広範囲にわたるデータ計測はできないが、測定範囲内においては高精度のデータが取得可能である。立面的な計測のため、地物の側面が計測可能であり、計測物の詳細な高さ情報が取得できる。また、可視化すると人の目線に近い空間が表現される。

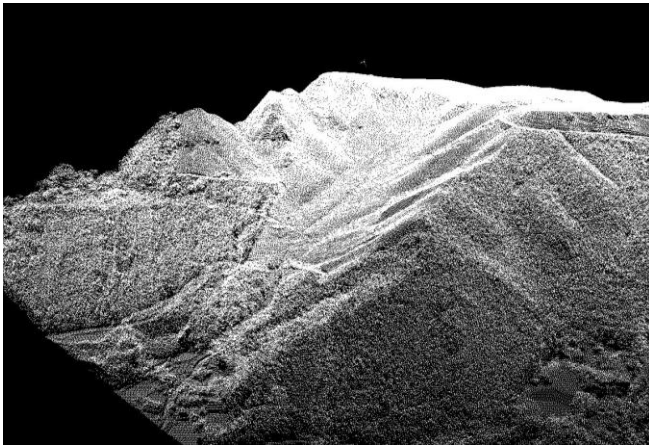


図-1 平面点群データ



図-2 立面点群データ

### (2) 立面点群により構成される道路空間

#### a) 特徴

点群データは表-1に示すように点ごとに3次元位置情報(x, y, z)や色情報(R,G,B)などの数値情報を保有しており、可視化することで計測した空間を見ることができる(図-3)。点群により構成された空間内で物体が認識できるのは、人間が経験をもとに点群と実空間の対応づけを行うことで、路面や電柱などの属性を分析し、全体的な「景」として再構成しているためである。

ここでは、道路空間を各空間に存在する物体の特徴から図-4に示すA, B, Cの3空間に分類する。

表-1 点群データの例

X	Y	Z	R	G	B
26692.35	-67703.6	311.0442	60	60	60
26692.32	-67703.7	310.9887	0	0	0
26692.28	-67703.8	310.93	0	0	0
26692.15	-67704.2	310.6935	0	0	0
26692.27	-67704.3	310.676	0	0	0
26692.26	-67704.4	310.6203	0	0	0
26692.22	-67704.5	310.5547	0	0	0
26692.19	-67704.6	310.4931	0	0	0
26692.15	-67704.7	310.4245	0	0	0
26692.11	-67704.9	310.3557	0	0	0
26692.07	-67705	310.2864	0	1	0
26692.03	-67705.1	310.2147	0	0	0
26692.11	-67705.2	310.1812	4	8	4



図-3 道路空間の点群データ

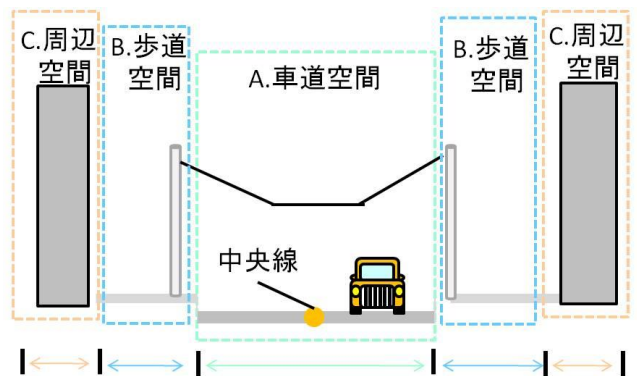


図-4 道路空間横断図

### A. 車道空間

道路面、車、高架線などが存在し、比較的平滑な道路面があり、その道路面の上や道路面上空に構造物を有している。

### B. 歩道空間

街灯、信号、電柱、標識、樹木など様々な高さや大きさの柱状構造物や、ガードレールなどの帯上構造物が点在している。

### C. 周辺空間

市街地では様々な高さの建物、山間地では山の斜面などが存在している。

### b) 課題

道路空間上のすべての構造に属性を与えるためには、まず図-4のように、道路空間を3分する必要がある。本論文ではまず、比較的特徴がつかみやすい A. 車道空間に着目し、路面抽出の手順を示す。

平面点群データについては、山本らの論文<sup>6)</sup>において分散値解析による道路面の属性判別法が示されている。しかし、本研究で解析を行う立面点群データは、信号、架線といった人工物が多く、平均値回りの均等な分布ではないため、同様の手法による属性判別は困難である。そこで、高さ方向の点群の分布の特徴を調べ、構造物が保持している形状的特徴より、全点群の属性分析を行う。

### (3) 車道空間の特徴

前節の A. 車道空間に存在するものは次の3つに分けられる(図-5)。

- a. 道路面の物体  
道路の表面。
- b. 路面上の物体

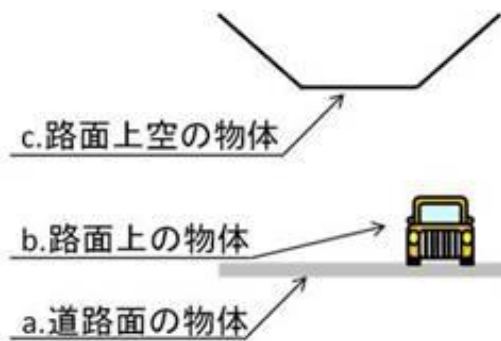


図-5 車道空間横断面

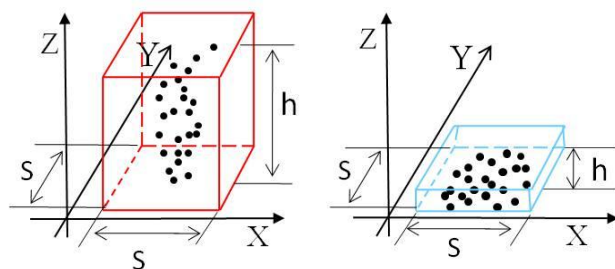


図-6 メッシュの拡大図

車、人、分離帯など道路面に接地している物体。

### c. 路面上空の物体

架線、高架橋、トンネル、樹木や標識の一部など。

上記3つのうち、基準となるa. 道路面の物体の抽出を行うことで、その上に存在する構造物の抽出が可能となる。

## 3. 道路面抽出

### (1) 最大分散幅 h の定義

全点群を、XY 座標上に引いた正方形のメッシュに分割する。図-6 に示すように、メッシュによっては、点群が Z 方向に高位置まで分布する場合と、低い位置に板状に集中する場合がある。各メッシュ内の最大・最小の z の値をそれぞれ、 $z_{max}$ 、 $z_{min}$  とし、その差  $h$  を最大分散幅と呼ぶ。

$$h = z_{max} - z_{min} \quad (1)$$

メッシュ幅は点群データの特性により、x、y 方向で独立に設定することが望ましいが、今回の解析では x、y 方向全てを同じメッシュサイズ  $S$  とする。

$h$  の大きさにより、メッシュ内の全データを同一色として色分けを行うと、たとえば図-7 のようになる。色分けは青から赤にいくにつれて  $h$  が大きくなるようにした。図-8 には、 $h$  の小さいものだけを表示し、道路面と考えられる部分を示す。路面上の車等が含まれるメッシュは近傍の路面より相対的に  $h$  の値が大きくなるので、取り除かれているのが判る。

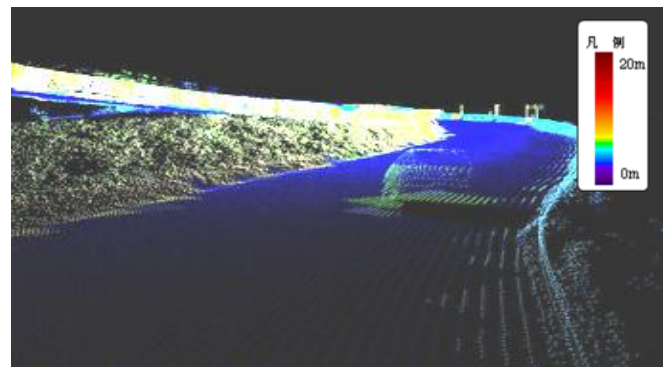


図-7 最大分散幅 h による色分け

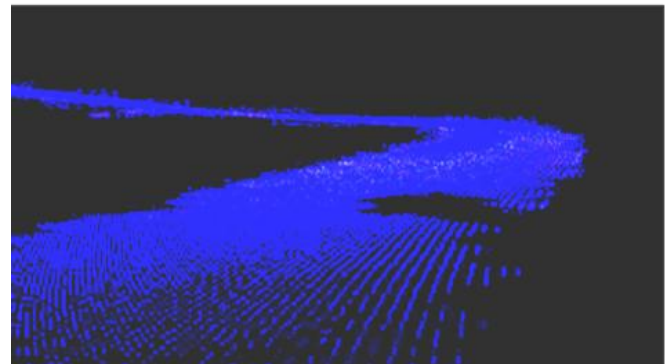


図-8 平滑な面の抽出

## (2) 道路抽出条件

### a) 平滑面の定義

メッシュ内の点群を平滑(水平)な面と見なすために、最大分散値幅  $h$  の範囲を、測定誤差  $\alpha_1$  と勾配による高低差  $\alpha_2$  により定義する。  $\alpha_1$  と  $\alpha_2$  の和を全誤差  $\alpha$  とすると、平滑面は次のように定義される。

$$0 < h < \alpha \quad (2)$$

#### ①測定誤差

測定時の誤差  $\alpha_1$  は、**図-9** のように上下方向を考慮し次式のように設定する。

$$\alpha_1 = 2\delta \quad (3)$$

#### ②勾配による高低差

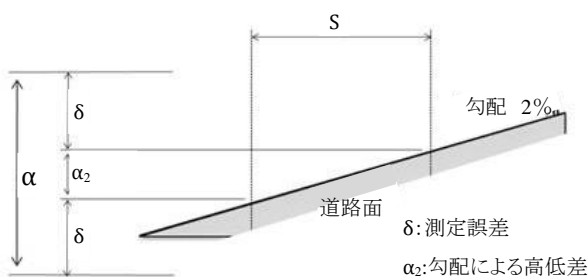
道路において縦断方向で水平であった場合に平滑であるべきであるが、横断方向では横断勾配が設定されていることから平滑とはならない。そのため道路設計<sup>7)</sup>に用いられている平均的な横断勾配である 2% 勾配までを平滑と見なす高低差とした<sup>8)</sup>。このことから勾配による高低差は、式(4)とする。

$$\alpha_2 = 0.02S \quad (4)$$

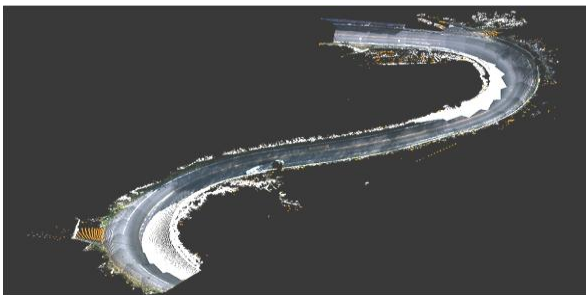
### b) メッシュ内データの下限值

メッシュ内に存在する点の総数  $n$  が下限値  $\beta$  より小さい場合は、 $h$  の算出が困難であると考え、データから除外する。

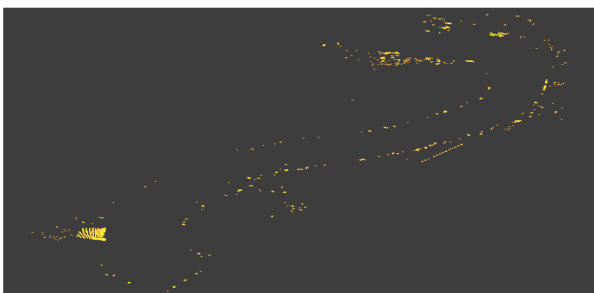
$$\beta < n \quad (5)$$



**図-9** 勾配による高低差と測定誤差



**図-10** 点群データ



**図-11** ノイズデータ

また、MMS は走行しながら計測を行っているため、走行軌跡近傍にある道路面は密に測定されている。このことから、個数が少ないメッシュは道路面ではないと考えられる。**図-10** のデータから、式(5)を用いノイズを抽出した例を**図-11** に示す。

以上より、式(2)、(5)の条件から抽出される平滑面を道路面とみなす。

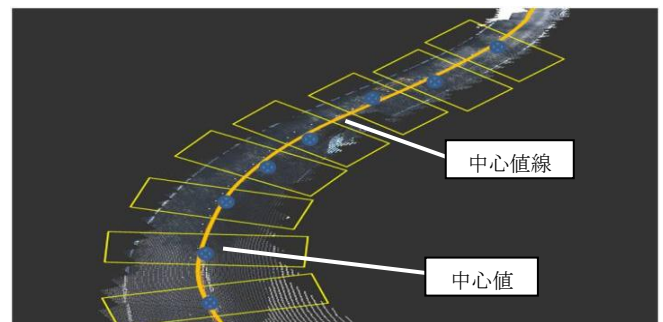
## 4. 中心値線および境界線の推定

### (1) 中心値線の定義

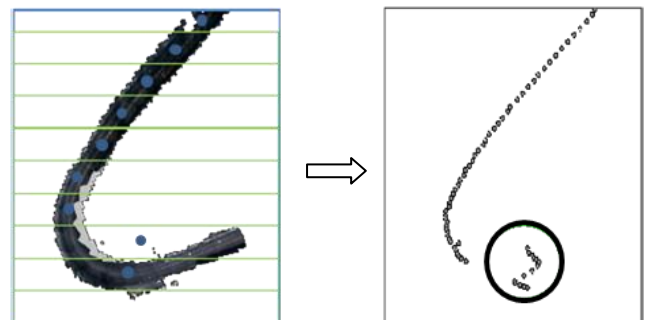
中央線<sup>9)</sup>は上り線と下り線を分けるための運用上の線であり、必ずしも道路中央にはない。本論文は、横断面上における道路面の構造上の中心点を中心値とよび、この中心値を連ねたものを中心値線とよぶ。さらに、この値を道路設計における縦断線と見なす。

中心値線は、**図-12**のように道路面抽出データを縦断方向へ一定の区間で分割し、各区間の中心の値を抽出した際に取得できる線である。

市街地の道路のように直線的な道路や比較的緩やかなカーブの道路であれば、データの  $x, y$  座標に着目し  $x$  軸に平行に分割することで、中心値線と同様の線形の推定は可能である。しかし、山間地やループ橋などカーブがきつい場所の道路面データは、**図-13**に示すように道路外に中心値が設定され、正確な中心値線を推定することはできない。したがって、縦断方向で区間分割を行い中心値線の推定を行った。



**図-12** 中心値線



**図-13** 中心値線推定の問題点

## (2) 推定手順

中心値線推定のためのアルゴリズムフローチャートを図-14、各ステップのイメージを図-15に示し、以下に詳述する。

- a) 式(5)を用い、点群データからのノイズを除去した道路面データを作成する。(図-15, a)。
- b) a)のデータをメッシュサイズ  $S$  より大きな  $S'$  により正方形にメッシュ分割し、各メッシュの重心点を抽出する。この重心点を概略の線形とする(図-15, b)。
- c) b)で抽出した概略線形に沿って、道路面データを縦断方向へ区間に分割する(図-15, c)。
- d) c)で分割した各区間の重心点を抽出する。(図-15, d)。
- e) b), c)のプロセスを  $K$  回繰り返して処理し、重心点を補正する(図-15, e)。
- f) 補正した重心値を連ねた線を中心値線として推定する(図-15, f)。

## (3) 車道空間の分類

### a) 境界値推定

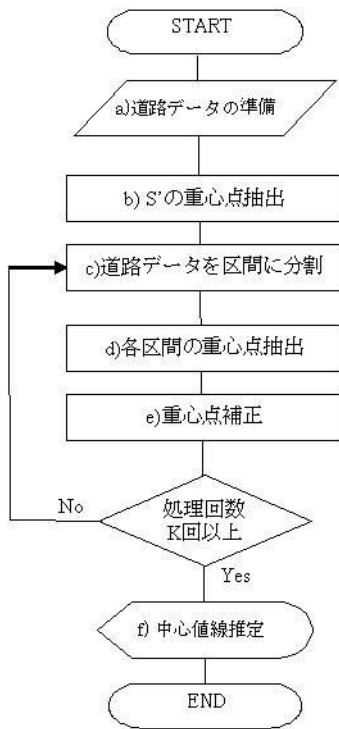
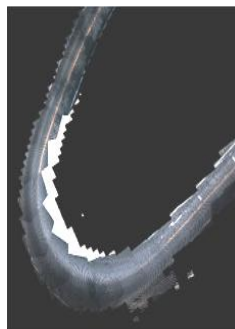


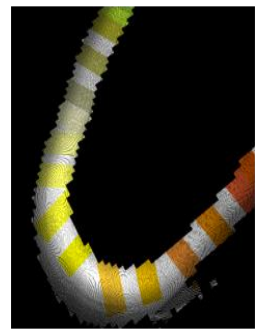
図-14 フローチャート



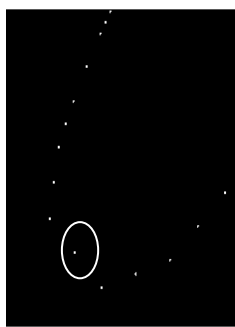
a) 道路面データ



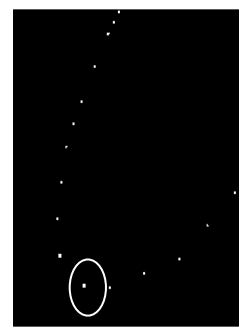
b) S'の重心点抽出



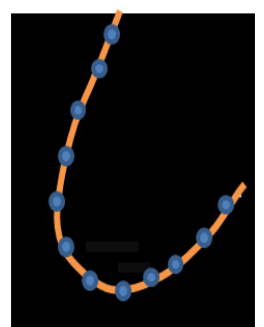
c) 区間に分割



d) 各区間の重心点抽出



e) 補正重心点抽出



f) 中心値線推定

図-16に示すように、中心値線と道路面の端までの距離  $D$  を算出する。この  $D$  が道路空間と歩道空間の境界値となる。そこで、中心値線と各点の  $x, y$  座標との距離  $D_i$  を算出し、車道空間を抽出する条件を以下とする。

$$D_i < D \quad (6)$$

### b) 車道空間の分割

道路面と見なす  $h$  の条件は第3章の式(2)である。つまり、式(2)以上の範囲は、路面上、路面上空となる。路面上と、路面上空の境界設定を行う。

道路上空には、「4.5m以下に構造物に設置してはならない」という建築限界<sup>10)</sup>が存在する。図-17に示すように、この建築限界より低位置を基準値  $\gamma$  として設定し、路面上、路面上空へ分割する条件を以下とした。

$$\alpha < h < \gamma \quad (7)$$

$$\gamma < h \quad (8)$$

### c) 路面上および路上空の解析

式(7)を用いることで路面上の物体を抽出可能である。条件に当てはまるデータを除去することで、車や人などの不要な物体を消去する。

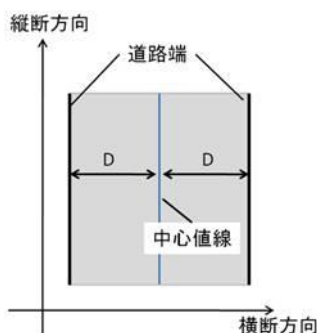


図-16 境界値設定

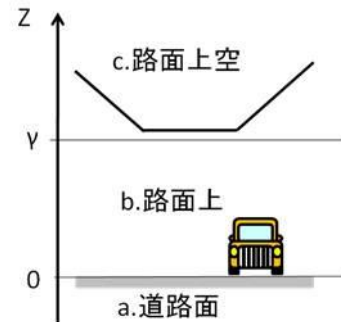


図-17 車道空間の分割

路面上空に存在する構造物には、架線や高架橋など、複数の物体が存在し、それらを区別する必要がある。メッシュ分割した際に、メッシュ内に含まれる点の個数と、 $h$  の値を考察し、路面上空の物体を識別する。

架線は線の形状であるため、他の構造物と比べるとメッシュ内に含まれる点の個数が少ないと考えられる。これより、架線であると見なす点の最小個数を $n_L$ 、最大個数を $n_U$ とし、個数の条件を以下のように設定する。

$$n_L < n < n_U \quad (9)$$

次に、高架橋や標識などの構造物は立面的形状を保持していることから、 $h$  の値は他のメッシュに比べて大きくなる。一方、架線は  $S(m)$  の間で垂直に変化することが無いため、急激な高さ方向の変化は生じない。

したがって、高さ方向の変位の上限值 $\epsilon$ とし、以下のように条件を設定した。

$$0 < h < \epsilon \quad (10)$$

以上の 2 式に当てはまるものを架線とみなし、それ以外のものをその他の構造物とする。

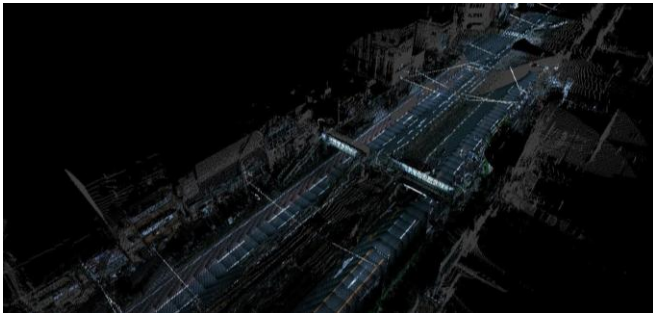


図 - 18 ケース A (市街地データ)



図 - 19 ケース B (山間地データ)



図 - 20 ケース C (ループ橋データ)

## 5. 適用事例

本章では第 3 章の抽出、第 4 章の推定について、表-2 で示す様々な地形的特徴をもった点群データの解析を行った。この中から、ケース A 市街地データ(図-18)、ケース B 山間地データ(図-19)、ケース C ループ橋データ(図-20)を対象とし、属性分析の適用事例として、①道路推定、②車除去、③架線抽出を行った。

### (1) 道路面抽出、および道路推定

図-20 に示すケース C ループ橋データから道路面のデータを抽出した。

式(2)~(5)に以下の設定値を適用する。

【解析用の設定値】

$$S = 1m$$

$$\delta = 0.095(m)$$

$$\beta = 20$$

なお、 $\beta$  はメッシュ内データの下限値のことであり、 $\beta=20$  としたのは以下の理由である。

MMS データは、縦断方向の点間は一定で、横断方向の点間は走行軌跡からの距離により変化する。走行軌跡付近では点間が狭く、距離が離れるにつれて広がる。そのため、距離が離れた地点の計測密度は疎になり、点の分布数は 20% まで減少する。路面の計測密度は密であることから分布数が 20% 以下になると、点群が路面を形成しているか判断しがたい。道路面を構成する点群は、1m 四方の範囲には約 100 点存在する。これより、 $\beta$  を 100 点の 20% にあたる 20 点に設定した。

解析用設定値から、式(3)は、

$$\alpha = 0.21 \quad (11)$$

となり、式(2)、および式(5)は以下となる。

$$0 < h < 0.21 \quad (12)$$

$$20 < n \quad (13)$$

式(12)と式(13)を適用することで、図-21 に示すように道路面の抽出、および中心値線の推定が行える。

表-2 データ解析対象地一覧

ケース	概要	点の総数(万点)
A	市街地	810
B	山間地	930
C	ループ橋	1560

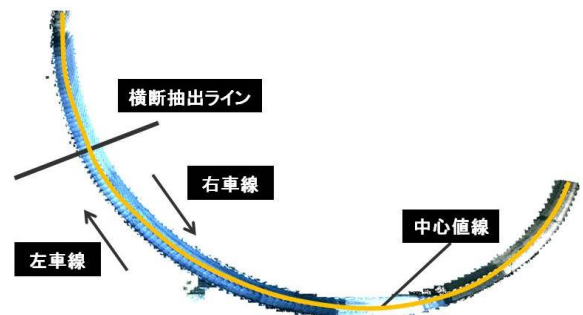


図-21 道路面抽出データ、中心値線

この抽出した道路面データを用い、道路推定を行う。

道路面データから中心値線を推定しているため、中心値線は線形や縦断のデータを保持している。この中心値線を用いることで、道路線形や道路縦断などのデータの取得が可能となる(図-22, 図-23)。

また、道路面抽出データを横断方向へ区間に分割することで、道路の横断面も取得可能となる(図-24)。ここでは、任意の箇所の横断データを取得しているが、道路全線において取得することが可能である。

上記のような、抽出データを用いることで、道路推定に必要な情報の取得ができる。道路線形、道路縦断は中央値線から CAD で作成し、道路横断は道路抽出データより CAD で作成した(図-22, 図-23, 図-24)。

また、視距改良設計<sup>11)</sup>では中央線の推定の手法が示されている。この手法で推定した中央線を用いることでより詳細な道路設計が可能となる。

## 2) 車除去

図-19 に示すケース B の山間地のデータを用い、計測データに含まれる不要なデータの除去を行った。

解析値から算出した  $\alpha=0.21$ 、と解析用の設定値  $\gamma=4$  を式(7)に適用すると以下となる。

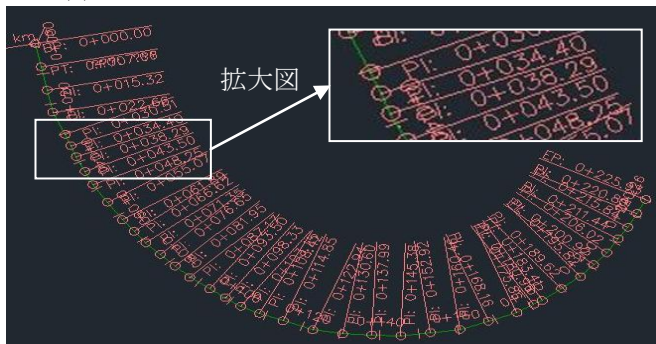


図-22 道路線形



図-23 道路縦断図

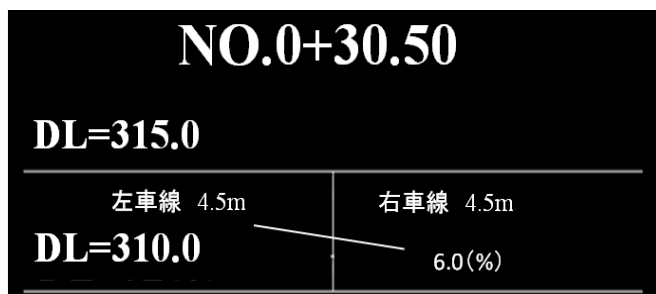


図-24 道路横断図

$$0.21 < h < 4 \quad (14)$$

式(14)を、図-25 a) に示す車道空間のデータに適用すると、図-25 b) のように車の除去が行える。

## 3) 架線抽出

図-18 に示す、ケース A の市街地の点群データを用いて架線抽出を行った。

図-18 から路面上空のデータを抽出すると、図-26 のようになる。式(9),(10)に以下の設定値を適用する。

【解析用の設定値】

$$S = 1 \text{ (m)}$$

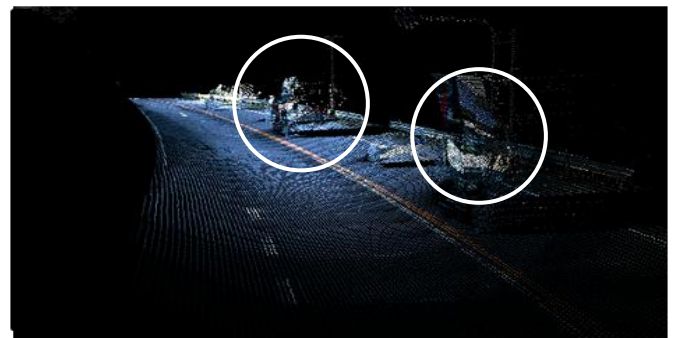
$$n_L = 4$$

$$n_U = 20$$

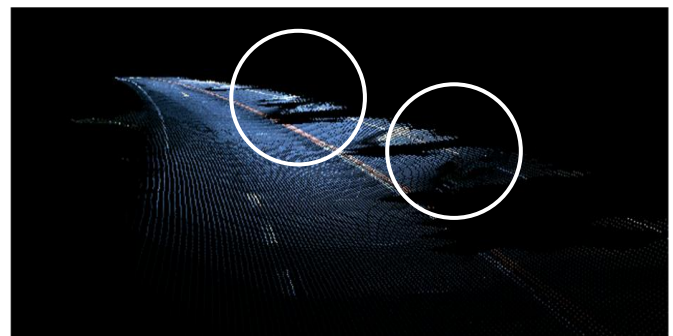
$$\varepsilon = 1 \text{ (m)}$$

なお、 $n_L, n_U$  は架線と見なす最少個数と最大個数、 $\varepsilon$  は高さ方向の変位の上限値のことであり、上記の値に設定したのは以下の理由である。

路面上空には架線、高架橋、樹木や標識の一部などが存在し、架線以外のデータを除去することで架線の抽出



a) 除去前



b) 除去後

図-25 車除去

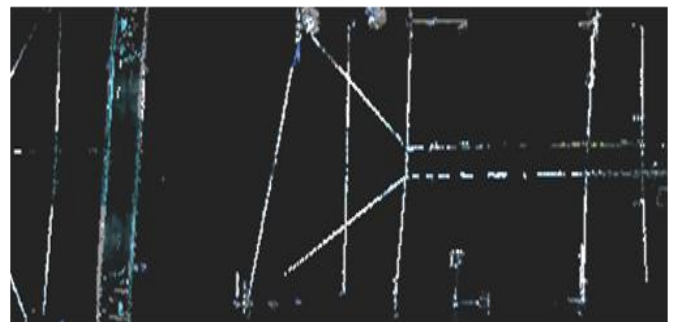


図-26 路面上空構造物

が行える。今回は、規制標識の大きさ<sup>12)</sup>から $n_U$ を算出した。規制標識の大きさを直径 0.6m の円と考えた場合、点間を 0.1m とすると、標識を構成する点の個数は 24~29 点程度である。これより、 $n_U$ は 24 点より少ない 20 点に設定した。

$n_L$ は、1m のメッシュ内に存在する点の個数が 1~3 点の場合をノイズとし、それ以上にあたる 4 点に設定した。

また、高さ方向の変位の上限値  $\epsilon$  は、横断歩道橋の高欄の高さ 1.1m<sup>13)</sup>から、これより小さい 1m に設定した。

解析用設定値から算出した条件式を、**図-26** に示すデータに適用すると、**図-27** のように架線の抽出が行える。

#### 4) 考察

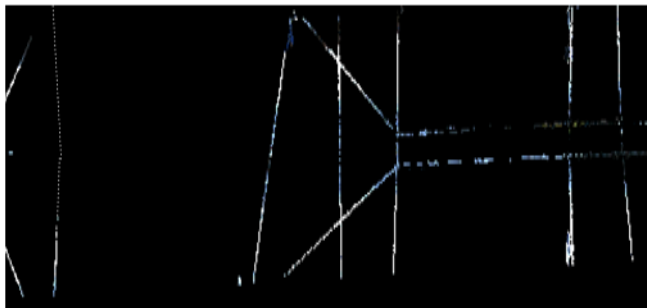
本手法により、3 次元位置情報のみの数値解析で属性分析を可能とした。属性を持たない立面点群データに対し、車道空間の属性分析が可能となったと考える。抽出した路面データより道路線形や縦横断等の詳細な情報を取得でき、点群データの設計への利用可能性が高まったと考える。

架線データと道路面へ属性を与えることで、道路から架線までの高さを自動計算することが可能となる。これにより、架線がたわみ、建築限界の基準値である 4.5m 未満になっていないかを検証することも可能である(**図-28**)。この架線のたわみ検証は、2 次元図面からは不可能である。

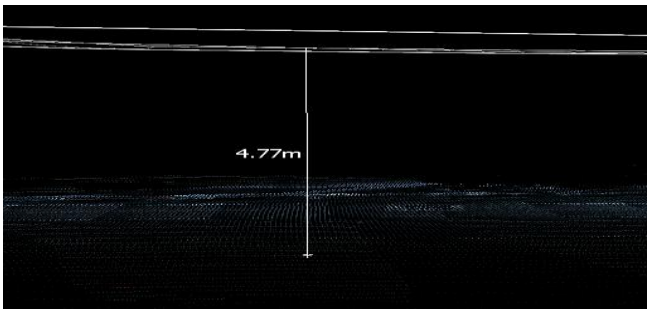
## 6. 結論

本論文では、立面点群データに対し、3 次元位置座標のみでの数値解析による属性分析を行った。点群により構成された道路空間を存在する物体の特徴から車道空間、歩道空間、周辺空間の 3 空間に分割した。その中で、特徴がつかみやすい車道空間に着目し、分析を行った。

メッシュ分割した点群データから最大分散幅による分析



**図-27** 架線抽出データ



**図-28** 架線のたわみ検証

により平滑面を抽出し、道路面とみなした。道路データから道路の構造的な中心の値を抽出し、それらを連ねた線を中心値線と定義し、道路空間分割の基準とした。車道空間を存在する物体の特徴から道路面、路面上および路面上空に分割し、各構造物の分析を行った。分析結果より、道路の線形や縦断等の情報を取得、車の除去および架線の抽出を行った。

道路面および中心値線の抽出により、道路空間分割の基準値の設定が可能となった。この基準値を基に道路空間の全ての点群の属性分析が可能となる。

今後は、車道空間以外の属性分析を行っていく。また、交差点等の側道が多く中心値線推定の誤差が大きい場合は、抽出の作業に手間がかかるためその改良を進める。

**謝辞**：本稿をまとめるにあたり、株式会社大建測量エンジニアには測量データを提供していただきました。ここに記して謝辞を表します。

#### 参考文献

- 1) 山本一浩, 小林一郎, 上野幹夫, 橋本淳也, 自動属性判別法によるレーザ計測データの有効活用について, 土木情報利用技術論文集, Vol.14, pp.79-86, 2005年10月.
- 2) 上野幹夫, 小林一郎, 山本一浩, 竹下史朗, レーザー計測データを用いた避難経路用の道路網作成, 土木情報利用技術論文集, Vol.16, pp.195-202, 2007年10月.
- 3) 小林一郎, 宮下征士, 坂口将人, 上田誠, MMSデータを用いた視距改良設計, 土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.1-8, 2009年10月.
- 4) 牧野衛, 小林一郎, 山本一浩, 九鬼裕之, 航空LPデータを用いた山岳地帯道路の散水融雪設備計画, 土木情報利用技術論文集, Vol.18, pp.235-242, 2009年10月.
- 5) 株式会社ウエスコ: モービルマッピングシステム(MMS), < <http://www.wesco.co.jp/work/sokuryou/data/r1000190002> >, 入手 2010.5.26).
- 6) 前掲1
- 7) 道路構造令 横断勾配 第24条.
- 8) 前掲1
- 9) 道路交通法 第17条4項 中央線.
- 10) 道路占拠許可基準 第2条1項 地上電線の占用.
- 11) 前掲3
- 12) 道路標識 区画線および道路標示に関する命令 別表第2
- 13) 立体横断施設 第3章 1節 3項 高欄  
<http://www.cbr.mlit.go.jp/road/sekkeiyouyou/pdf/09rittai.pdf>  
(2010.5.28受付)