
MATLABによる3次元点群処理の事例紹介



ImVisionLabs株式会社代表取締役

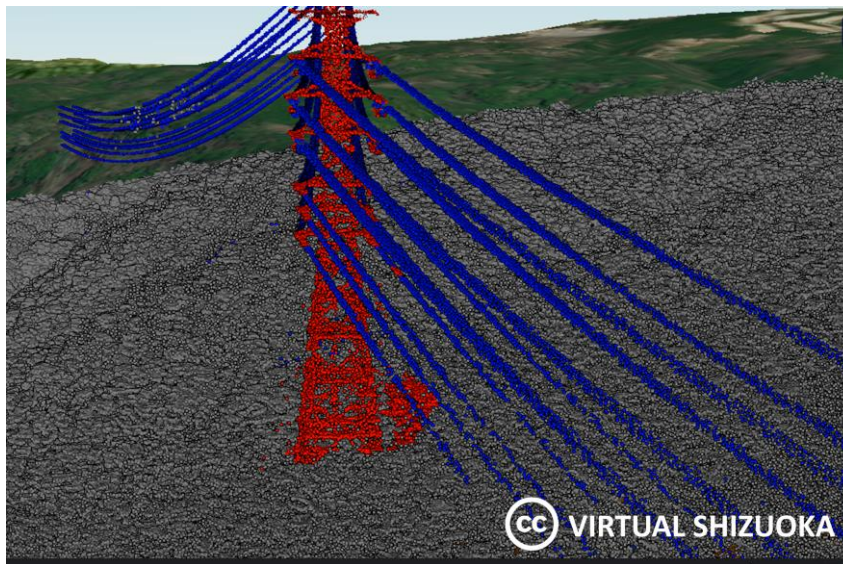
板倉健太

博士(農学)

私たちについて: 会社概要

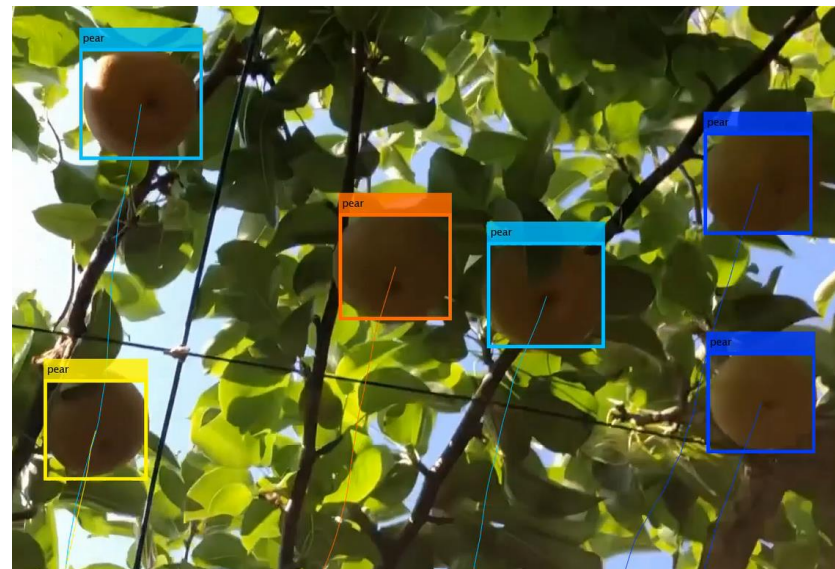
- 社名: ImVisionLabs株式会社
- 所在地: 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学南研究棟アントレプレナーラボ
- 代表者: 板倉健太
- メール: info@imvisionlabs.com
- ウェブサイト: <https://imvisionlabs.com/>
- 設立日: 2023年10月

事業内容



□ 企業様向け研究開発

主に3次元点群データを対象に、ご要望に応じたアルゴリズム開発や既存のアルゴリズムによるデータの処理を行います。まずは小さなスケールにて実証を行い、結果を見ながら規模を拡大していきます。森林管理・スマート農業・インフラ管理・自動運転など、様々なシーンにおいてご対応が可能です。



□ 大学や研究機関との研究

主に大学や研究所などの研究機関様と共同で、新規のアルゴリズム開発を行います。データ取得のためのセンサーの選定や測定方法から、アルゴリズムの提案まで幅広く対応が可能です。投稿論文の発表などを目指します。3次元点群に限らず、2次元の画像の解析などもカバーいたします。

3次元点群について

※長崎県より公開されている
オープンナガサキデータを利用しています

- 多数の点の集まりで対象の形状や色情報を表現する



3次元点群の計測について

- 対象にレーザービームを照射し、返ってくるまでの時間を利用し、距離を計算
- レーザースキャナ (LiDAR) を 自動車やドローンに搭載し、計測することが可能

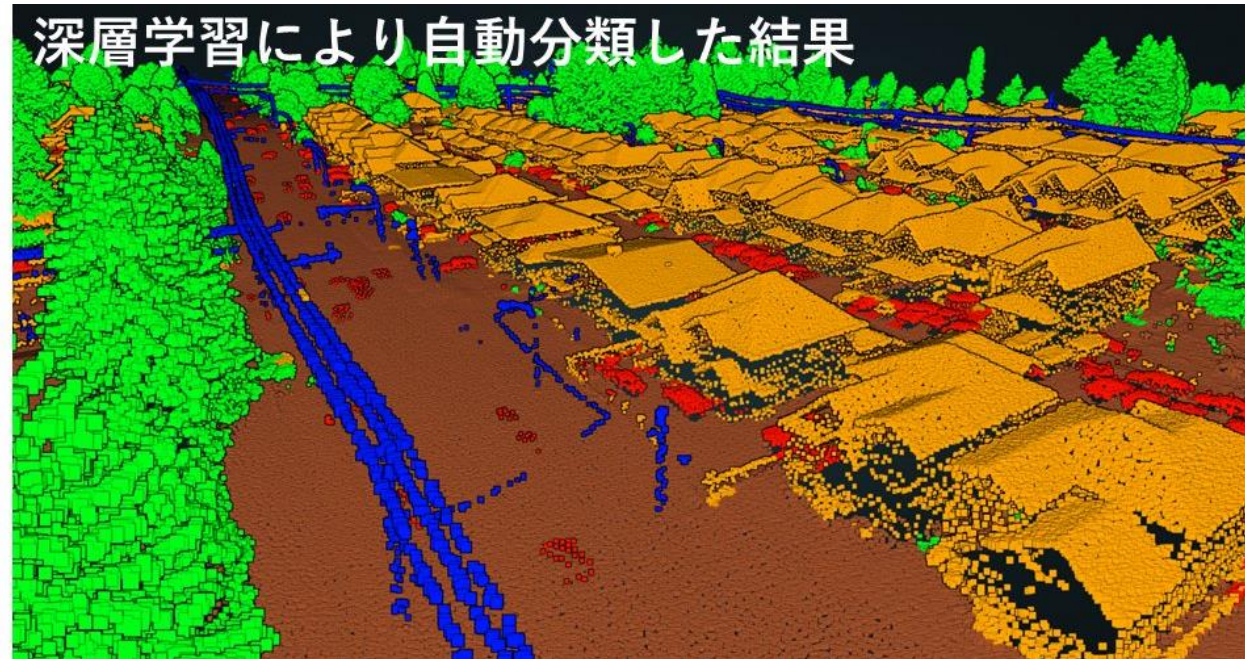
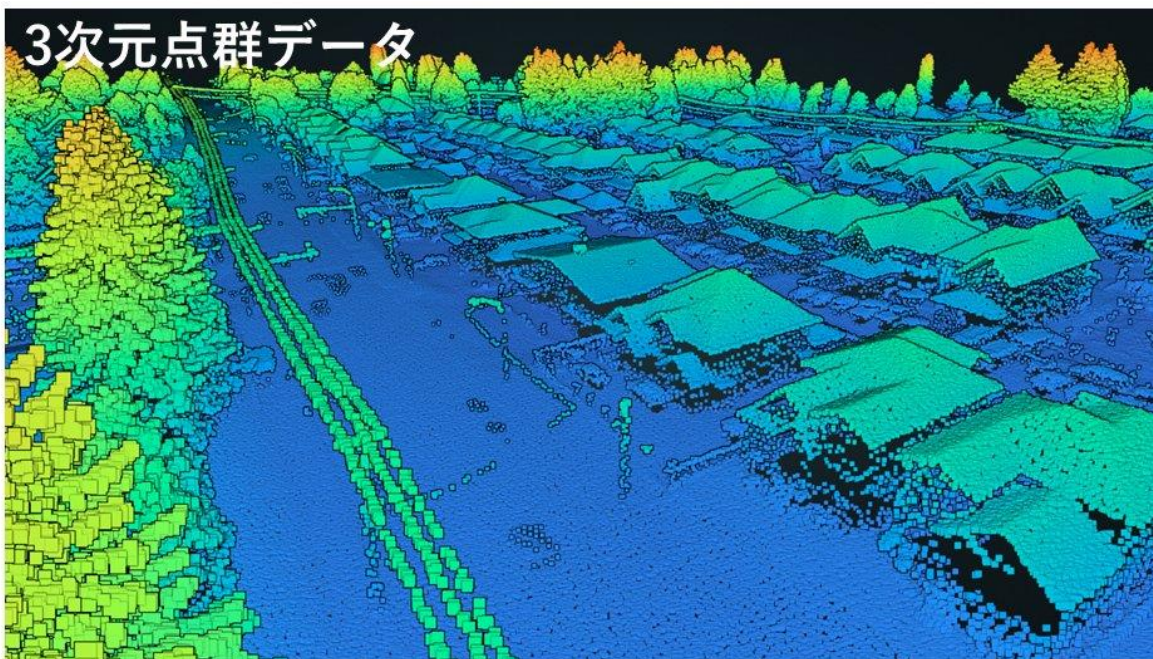
[動画]




3次元点群の処理について

□ 点群から情報を得るためには、点群の認識が重要

例) 樹木の量を知るために、植生を抽出、電線を抽出、対象外の自動車の点群を除去





林業分野における事例紹介

森林管理における課題

- 森林保全や資源管理、災害評価などの多くの場面において、森林を管理することは重要であるが、多くの課題を有する

手入が大変

整備されていない山は転落や滑落の危険性が高い



人材不足

山の多い地方ほど労働人口の不足が著しく、担い手がいない



経時的に変化

季節や災害により、森林の状態は絶えず変化し、そのたびに調査することは大変



森林における3次元点群の取得方法

- 目的に応じて、計測手法を選定する必要性
- ドローン(UAV)や地上型のスキャナを利用して点群を取得する

データ取得方法		本数	樹高	胸高直径	コメント
UAVレーザー		○	○	△	広範囲をスキャンでき、樹高などのデータも取得可能。
UAV 写真測量		○	△	×	比較的安価・手軽に計測が行えるが、樹冠下の取得が難しく、樹高計測において誤差が含まれる可能性
地上型・移動型LIDAR		○	×	○	広大で不整地の山中を歩くのは大変だが、胸高直径などの有益な情報が得られる。
UAVレーザー &バックパック型レーザー		○	○	○	より多い情報が得られるが、コストや計測の工数が多く なってしまう

地上にて取得した樹木の解析について

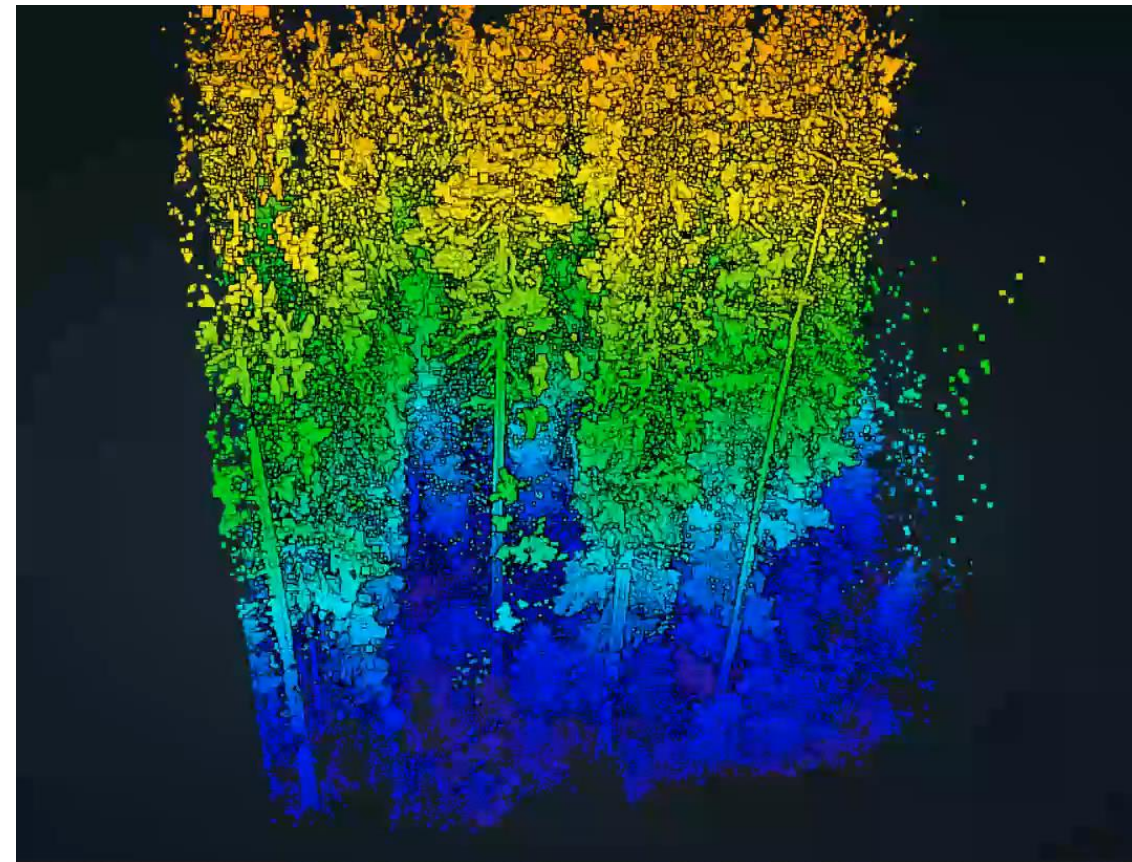
- 地上にて対象をスキャンすることで幹などの地上部の情報を取得可能
- 樹木の幹の位置やより詳細な本数、胸高直径や枝葉の構造などを計測可能

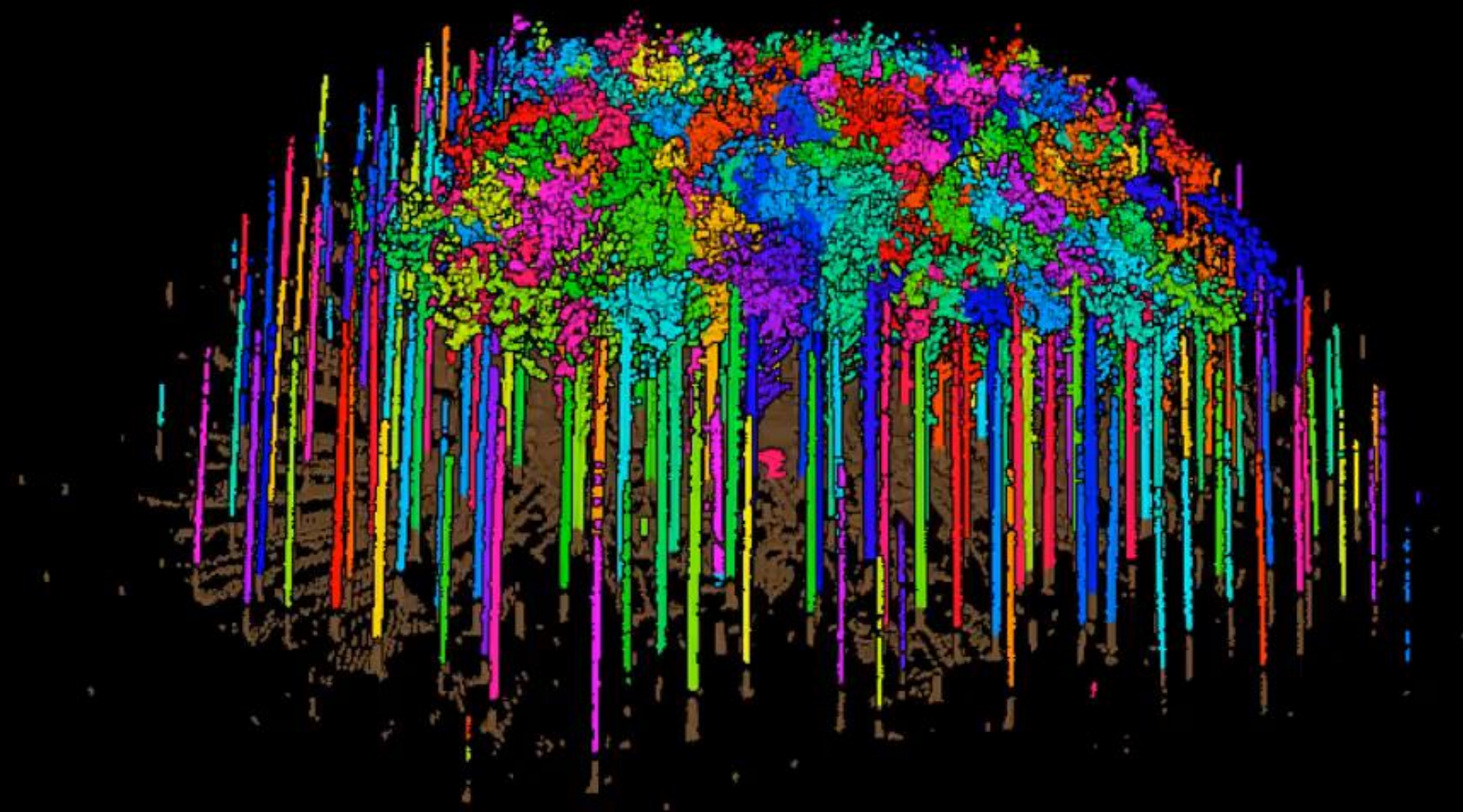


Velodyne VLP-16



FARO社製 TLS





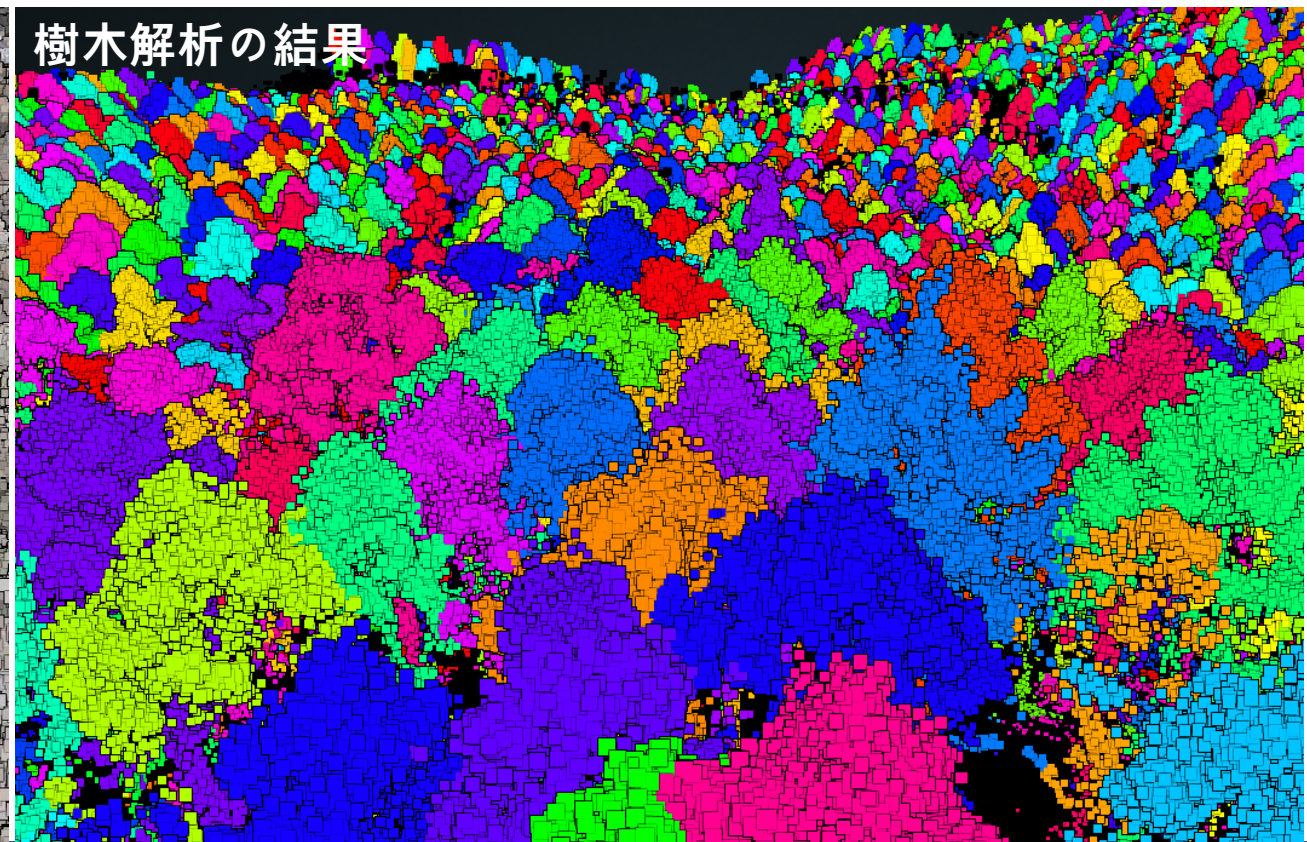
上空から取得した樹木の解析について

- UAVレーザー測量により森林を計測し、樹木解析を実行
- より広範囲のデータの解析が可能

入力データ



樹木解析の結果



上空から取得した樹木の解析について

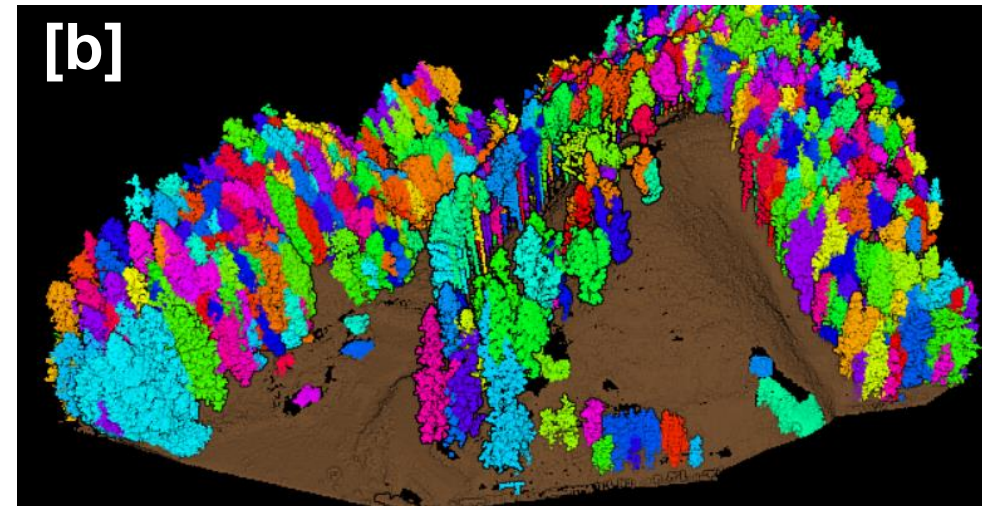
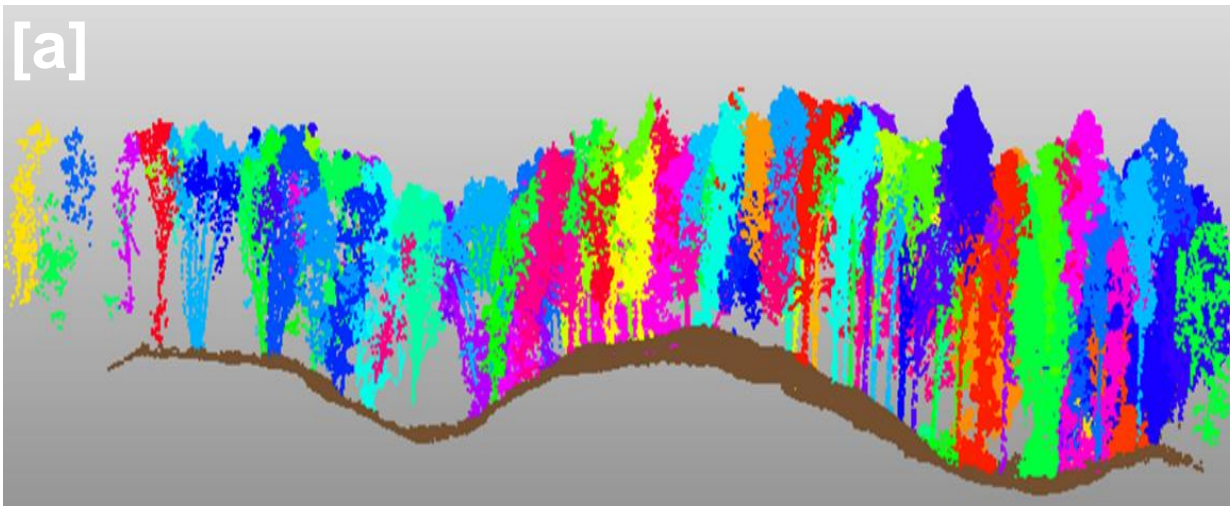


※東京都より公開されている
東京都デジタルツイン実現プロジェクトの
データを利用しています



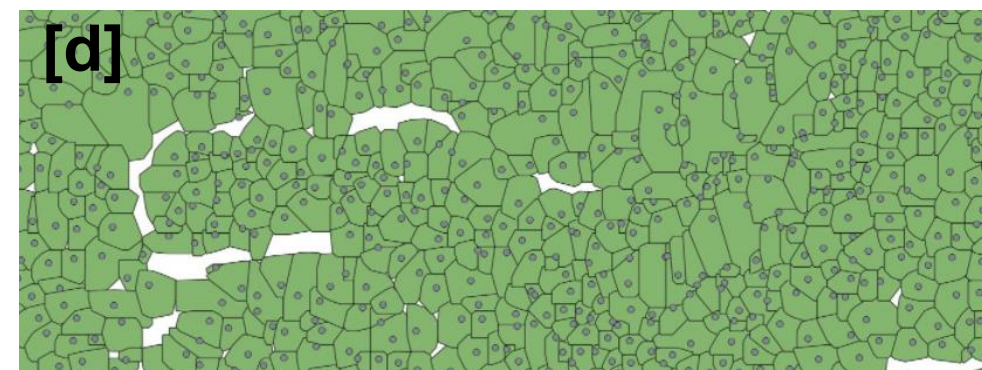
樹木の解析結果の出力について

□ 自動計算した情報をCSVやSHP形式にてエクスポート



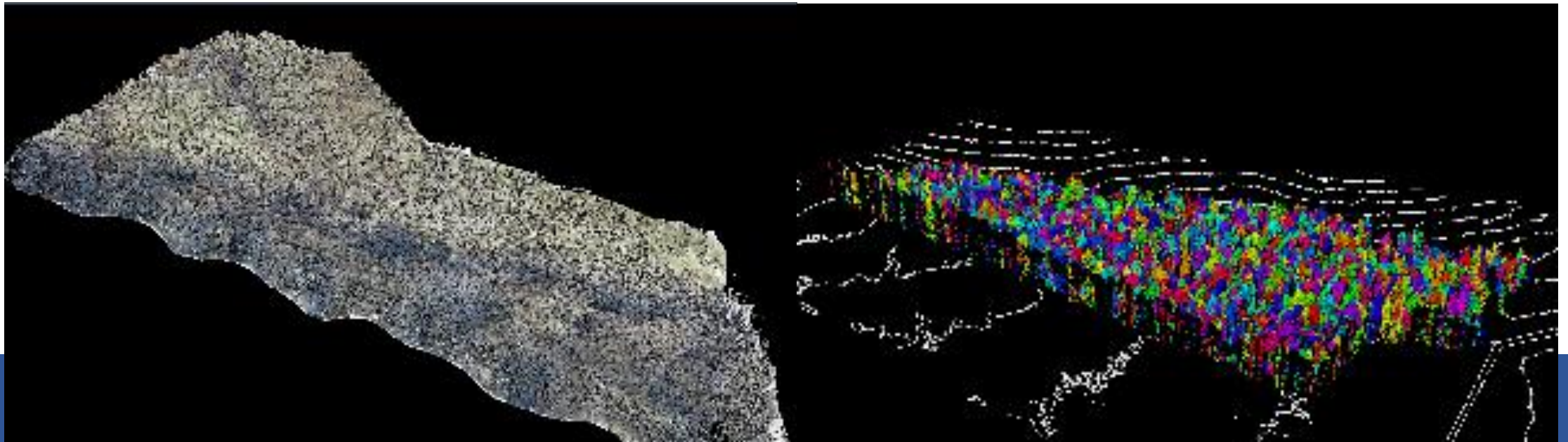
[c]

	A	B	C	D	E	F
1	Tree ID	X	Y	Z	TreeHeight	CanopyArea
2	1	61170.27	83692.27	472.133	4	50.1
3	2	61171.6	83684.98	474.352	3.3	19.2
4	3	61168.14	83682.68	474.892	1.8	0.4
5	4	61173.05	83688.09	473.575	3.6	15.2
6	5	61172.12	83698.47	471.068	4	26.5
7	6	61172.11	83654.89	469.721	5.2	8.5
8	7	61175.06	83705.49	467.59	2.7	15
9	8	61178.09	83676.71	471.965	6.2	65.1



ユーザー様事例

- 森林簿が869本に対し樹木解析結果では876本であると算出し誤差は1%以下
- 樹高は24mに対し解析結果は25.3mであり誤差5.2%であった
- フライトに関しては約3haの森林に対し10分程度の所要時間でデータを取得
- 毎木調査を行う場合の人工を2名と仮定すると所要時間は1日掛かる見込みのところ、10分でフライトが完了し大幅な省略化を実現





点群からの街路樹の自動検出

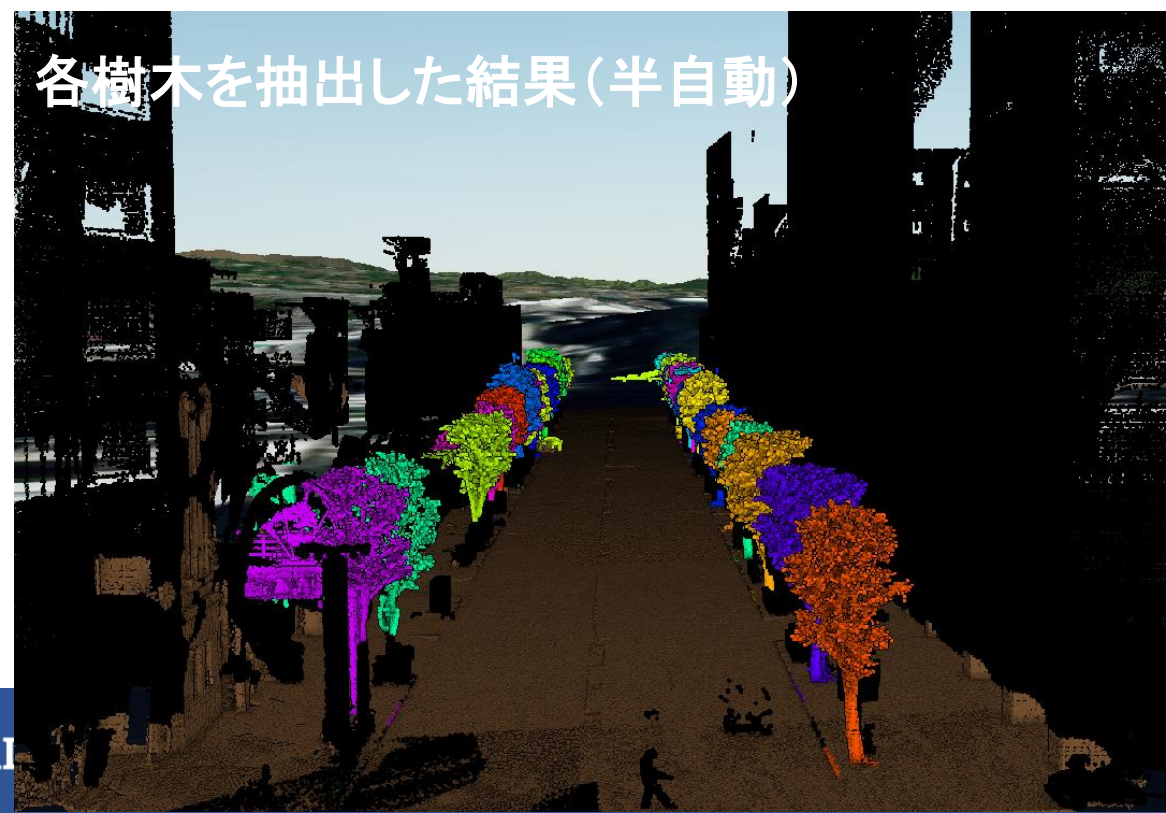
点群を利用した街路樹の情報の自動抽出

- 都市部に多く存在する樹木の位置や寸法（樹高など）を把握する必要性



3次元点群の処理について


- 電線や人、樹木などに点群を自動分類
 - 点群処理を利用し、各樹木個体に分離: 各樹木を異なる色で表示
- ➡ 樹木の位置や樹高をCSV形式にて出力



関連論文

□ 本セクションの内容の関連論文として以下のものが挙げられます

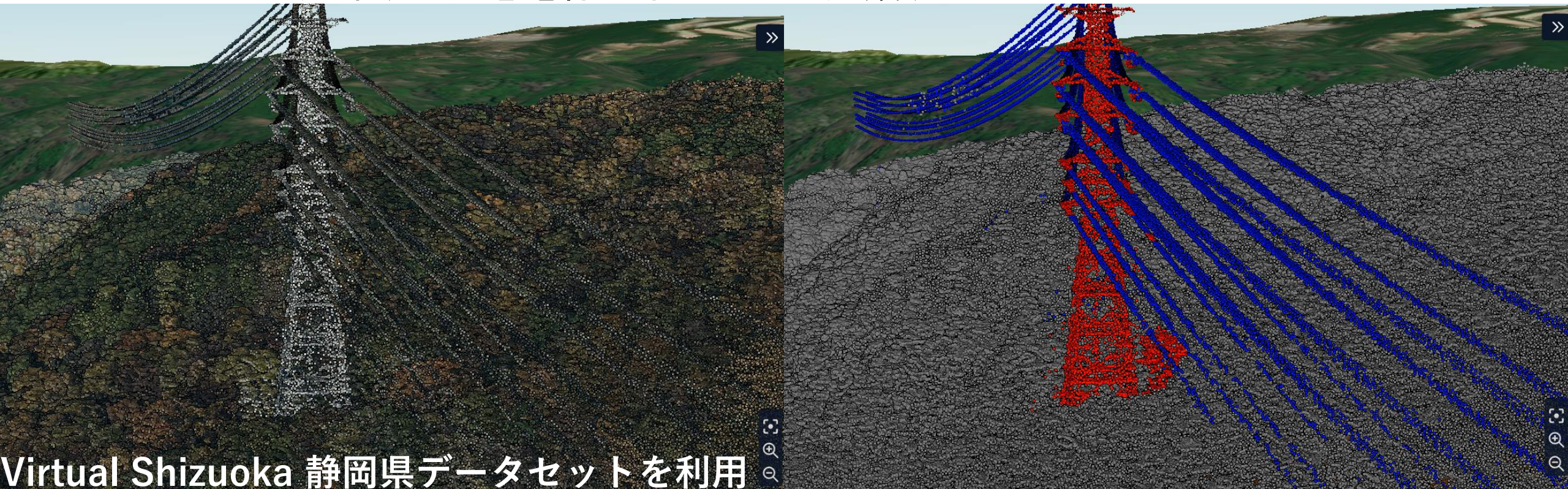
- Itakura, K., Miyatani, S., & Hosoi, F. (2021). Estimating tree structural parameters via automatic tree segmentation from LiDAR point cloud data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 555-564.
- Itakura, K., & Hosoi, F. (2018). Automatic individual tree detection and canopy segmentation from three-dimensional point cloud images obtained from ground-based lidar. *Journal of Agricultural Meteorology*, 74(3), 109-113.
- ITAKURA, K., & HOSOI, F. (2021). Three-dimensional tree monitoring in urban cities using automatic tree detection method with mobile LiDAR data. *Artificial Intelligence and Data Science*, 2(2), 1-10.
- Itakura, K., & Hosoi, F. (2020). Automatic method for segmenting leaves by combining 2D and 3D image-processing techniques. *Applied Optics*, 59(2), 545-551.



点群を用いた電線と植物の距離 (離隔距離) 計算の事例

点群を利用した電線や鉄塔の分類

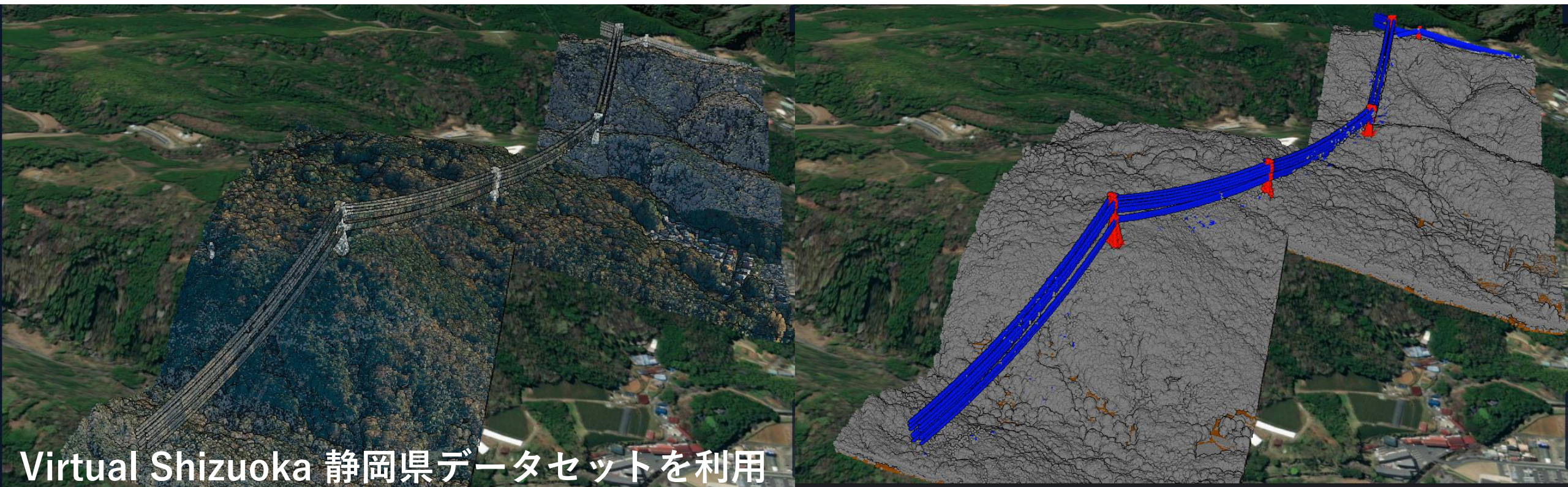
- 電線と植生が接近するとショートや火災のリスクにつながるため定期的なモニタリングが重要
- 航空機から取得した点群データを利用
- 3次元的に分布する点を電線や植生などに分類する



Virtual Shizuoka 静岡県データセットを利用

点群を利用した電線や鉄塔の分類

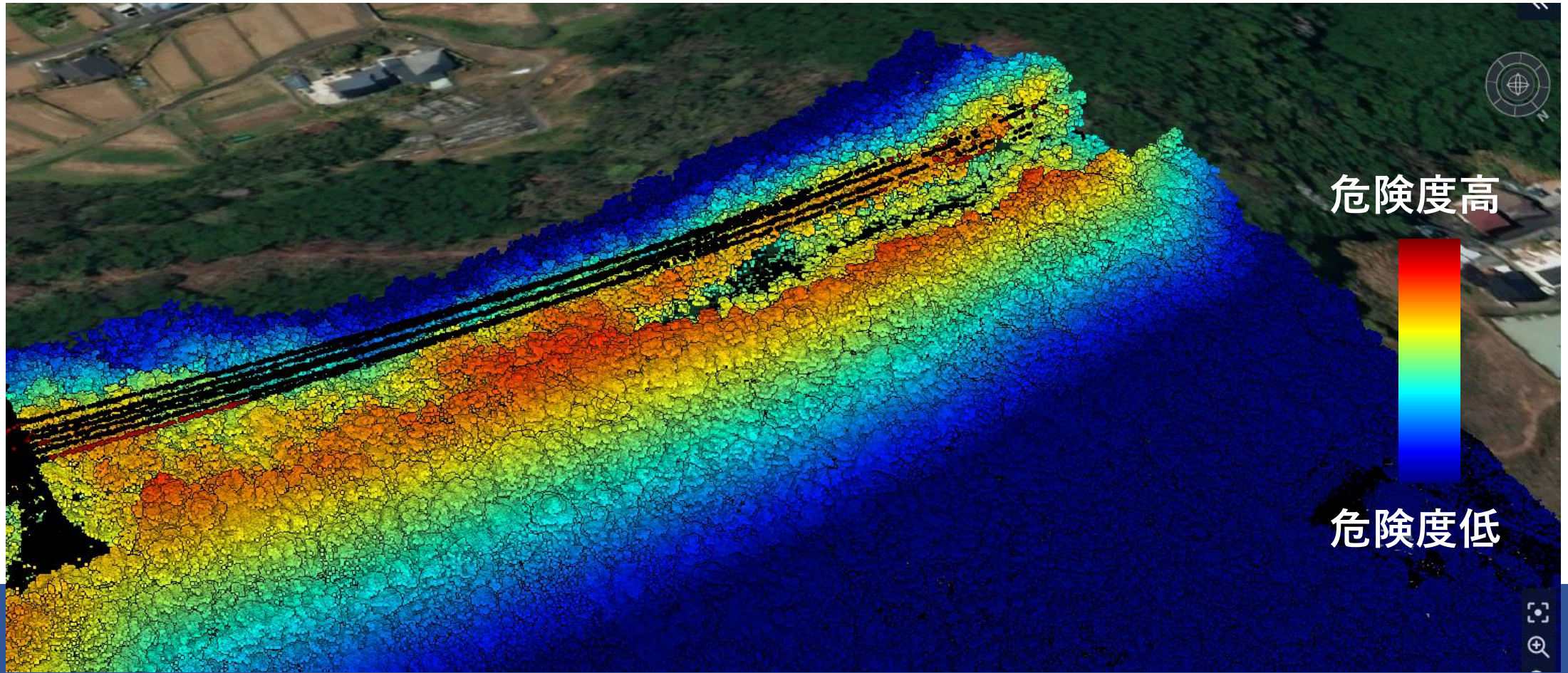
- 電線と植生が接近するとショートや火災のリスクにつながるため
定期的なモニタリングが重要
- 航空機から取得した点群データを利用



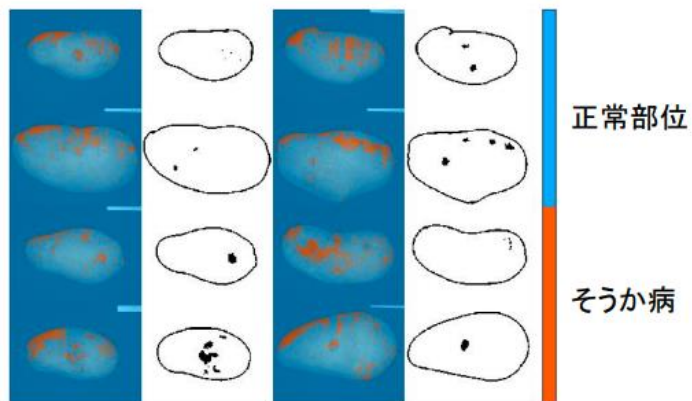
Virtual Shizuoka 静岡県データセットを利用

電線と植生の距離の可視化

- 危険度を以下のようにヒートマップにて可視化
- 広範囲のモニタリングを効率よく行える可能性

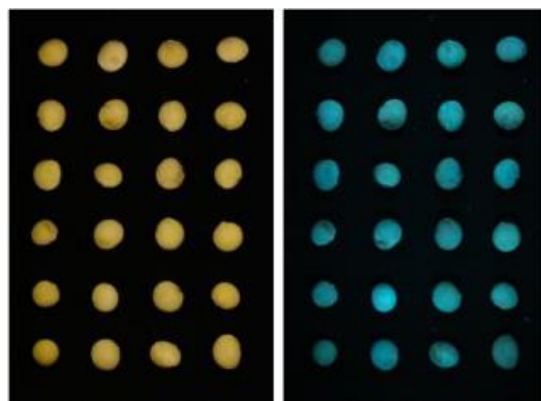


その他の農学分野での取り組み



バレイショの正常部位と病気(そうか病)のセマンティックセグメンテーション

(斎藤・板倉・山本・二宮・近藤, AI・DS論文集, 2022)



(a) カラー画像 (b) 蛍光画像

カラー画像および蛍光画像を利用した大豆の外部欠陥の自動判別

(斎藤・宮川・村井・小畑・板倉・佐藤, AI・DS論文集, 2023)



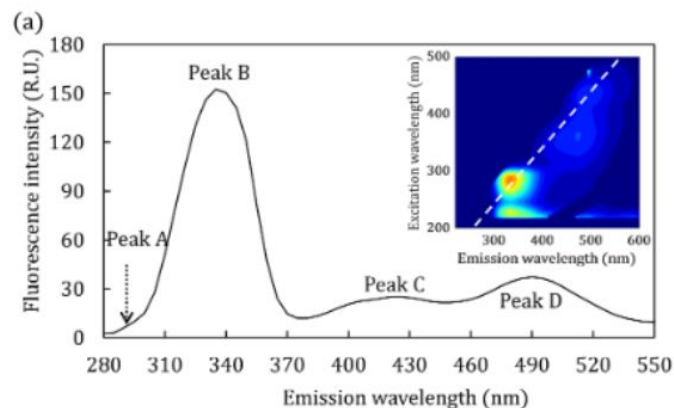
深層学習を利用した梨の自動追跡およびカウント

(Itakura, Narita, Noaki, Hosoi, OSA Continuum, 2021)



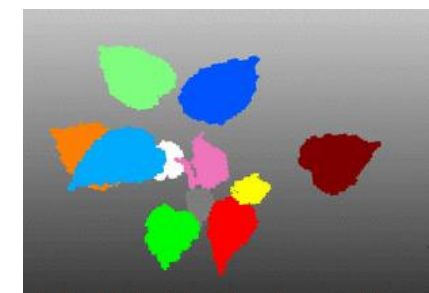
小型ドローンの自律走行による自動カウント

(Itakura, Noaki, Hosoi, J. Jap. Agri. Sys. Society, 2022)



蛍光分光法を利用したたんぱく質含有量の予測

(Saito, Itakura, Kurmoto, Kaho, Ohtake et al., Food Chemistry, 2021)



植物の3次元点群からの葉の自動認識

(Itakura & Hosoi, Applied Optics, 2020)

その他の農学分野での取り組み

□ 前スライド以外にも農学関連では以下の事例がございます

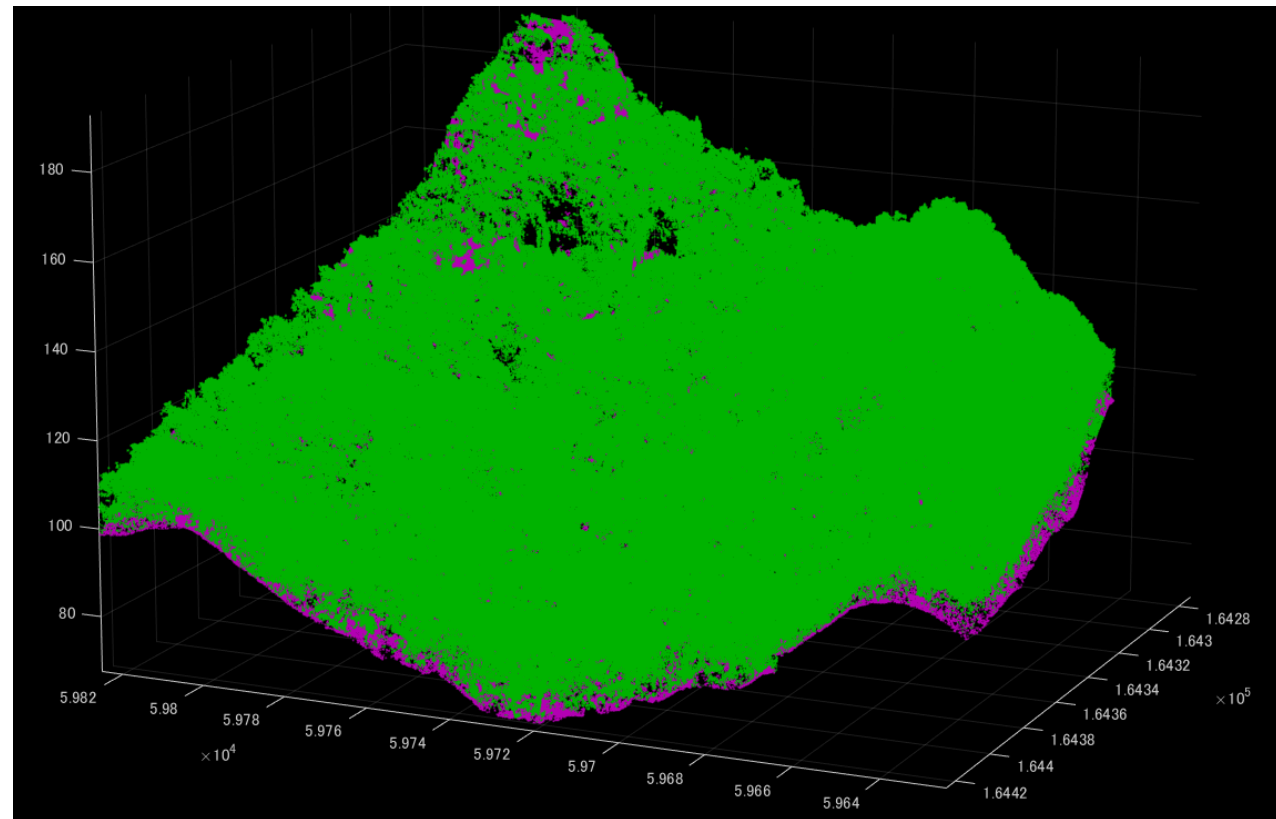
- 板倉健太, 林拓哉, 野秋収平, 上脇優人, & 細井文樹. (2022). 深層学習を用いた根菜類の個数カウンティングによる収量推定法の開発. AI・データサイエンス論文集, 3(J2), 6-16.
- Saito, Y., Itakura, K., Ohtake, N., & Hasegawa, H. (2024). Classification of soybean chemical characteristics by excitation emission matrix coupled with t-SNE dimensionality reduction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 322, 124785.
- SAITO, Y., MIYAKAWA, R., MURAI, T., & ITAKURA, K. (2024). Classification of external defects on soybean seeds using multi-input convolutional neural networks with color and UV-induced fluorescence images input. *Intelligence, Informatics and Infrastructure*, 5(1), 135-140.
- Miyakawa, R., Murai, T., Itakura, K., & Saito, Y. (2024). Classification of external defects on soybeans based on color and fluorescence image features. *Informatics and Infrastructure*, 受理済み.
- 田中光莉, 板倉健太, 斎藤嘉人 (2024). カラー画像および蛍光画像を用いた深層学習による貯蔵中のミニトマトにおける重量減少率の予測. 土木学会AI・データサイエンス論文集, 受理済み.



- 小豆島石丁場委員会は小豆島の山間部にある加藤家の石丁場の踏査を進めている
 - 石丁場(いしちょうば): 石を割ったり、加工したりした場所
 - 徳川時代の**大坂城築城時に小豆島から多くの石が運ばれた**とされる
 - 石丁場の発見のための**範囲は広大で、さらに危険を伴う**
 - UAV(ドローン)に搭載したLiDARを利用することで、木々に覆われ把握の難しい地形の情報も取得可能である
- ➡ 石丁場の手掛かりとなる道の跡(**道跡**)を3次元点群から**自動検出する手法**を開発

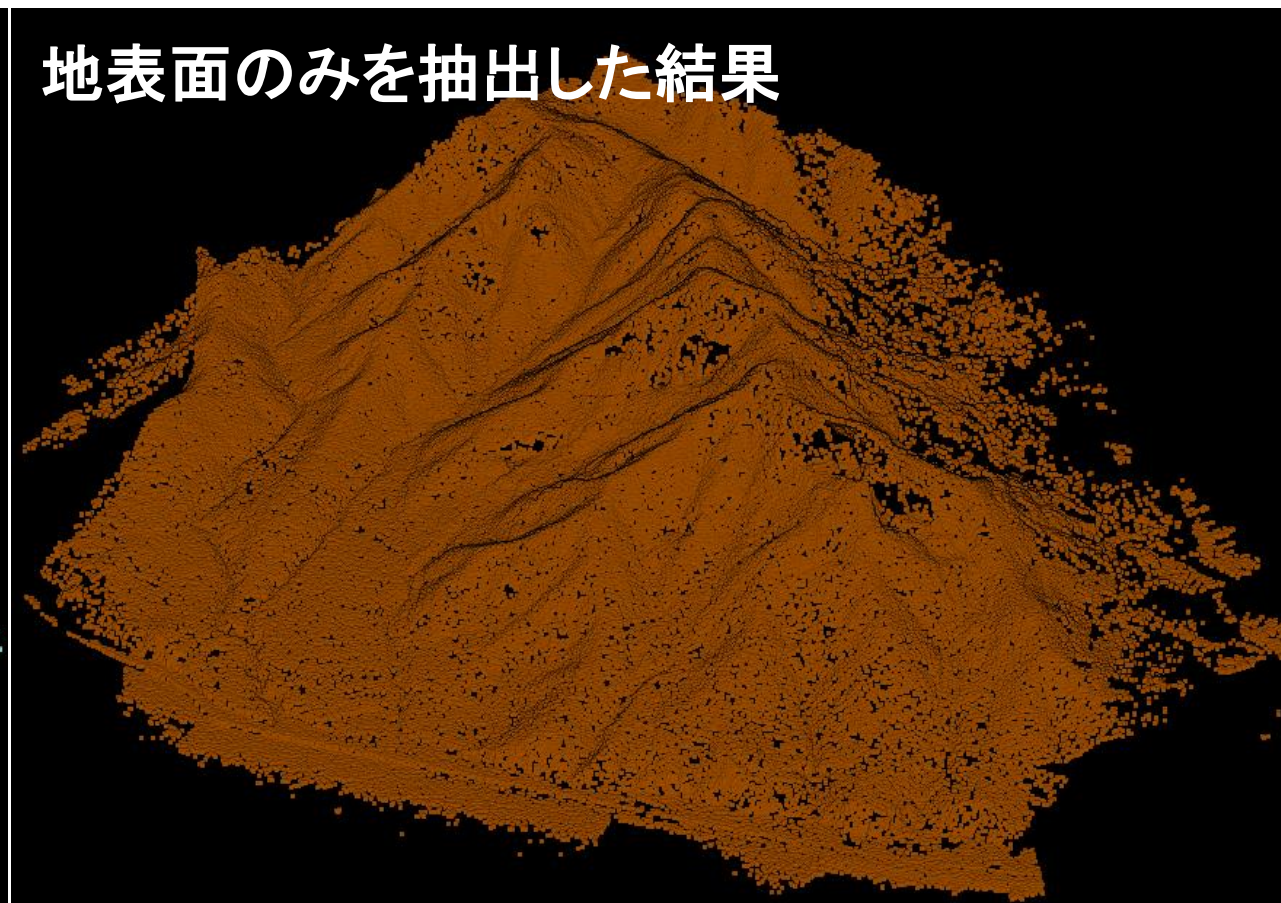
道跡(・石丁場)の検出: 地表面の取り出し

- 地表面の点のみを自動的に取り出します
 - 赤の点(地表面)を以後の解析の対象とします



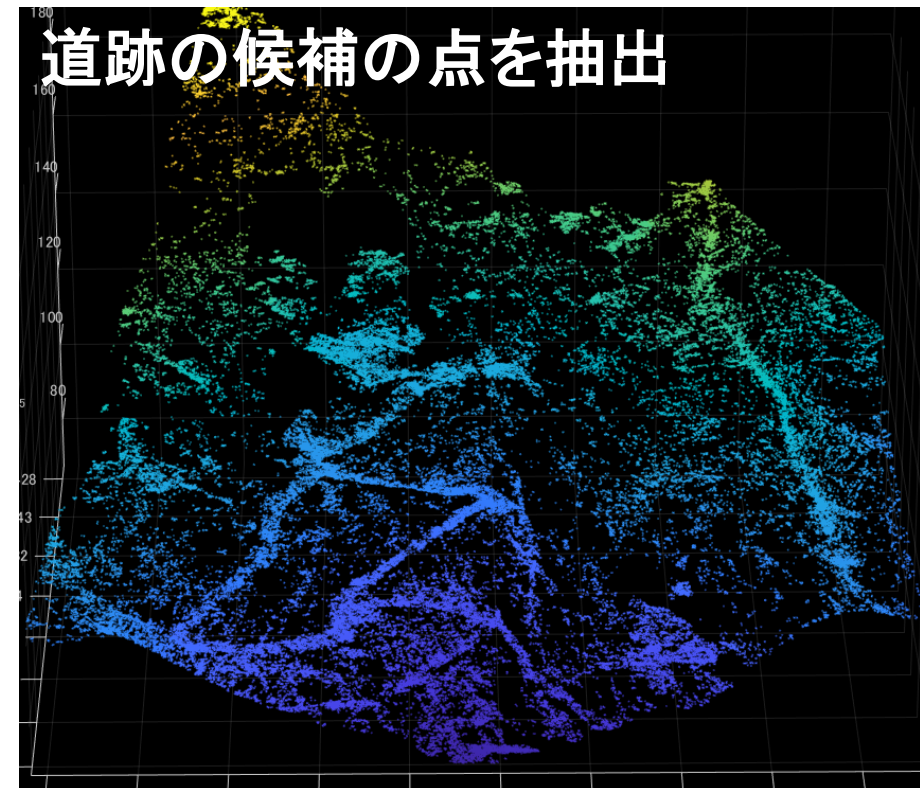
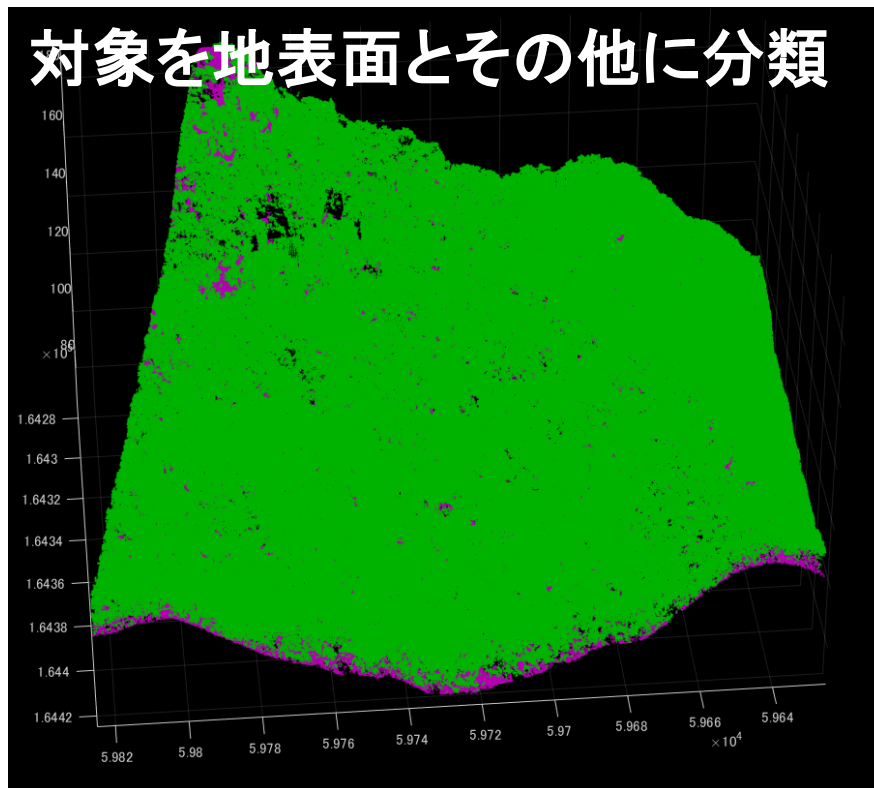
道跡(・石丁場)の検出: 地表面の取り出し

□ 地表面抽出を行った結果を以下に示します



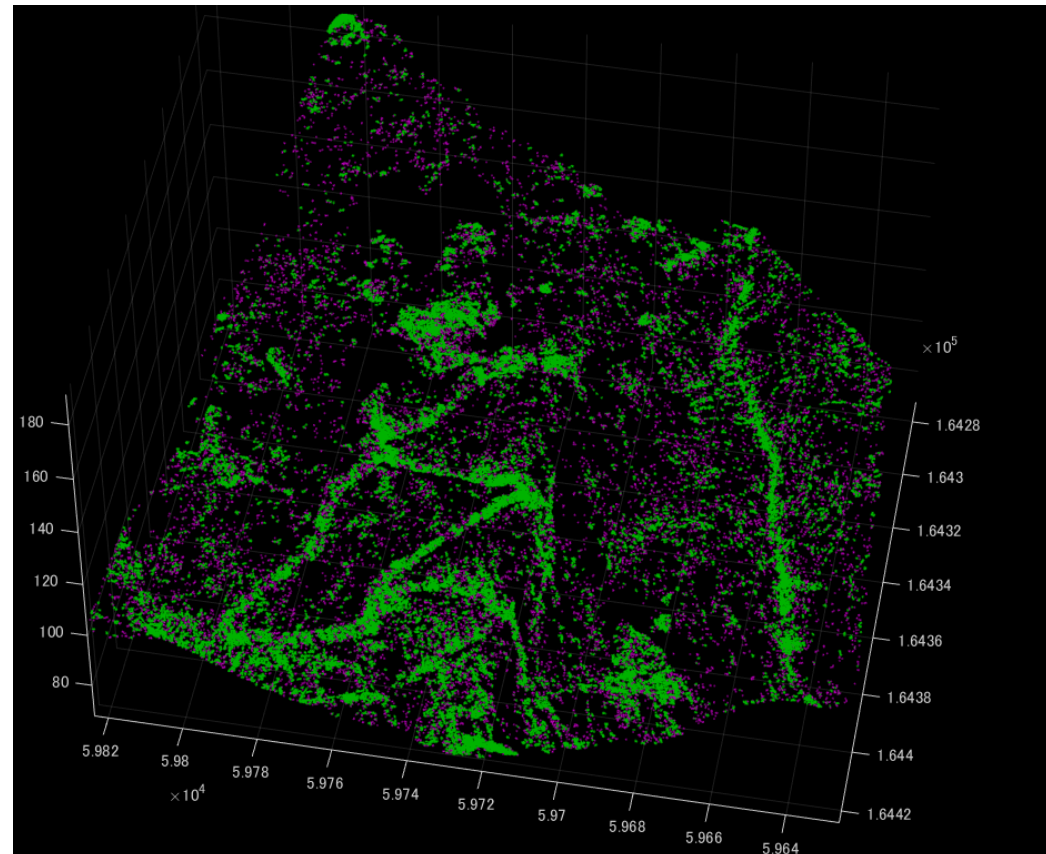
道跡(・石丁場)の検出:

- 左図: 地表面とその他に分類した小豆島の点群
- 右図: 本取り組みで開発した手法により道跡の候補の点を抽出した結果
→後処理を実施し、道跡以外の箇所を除去します



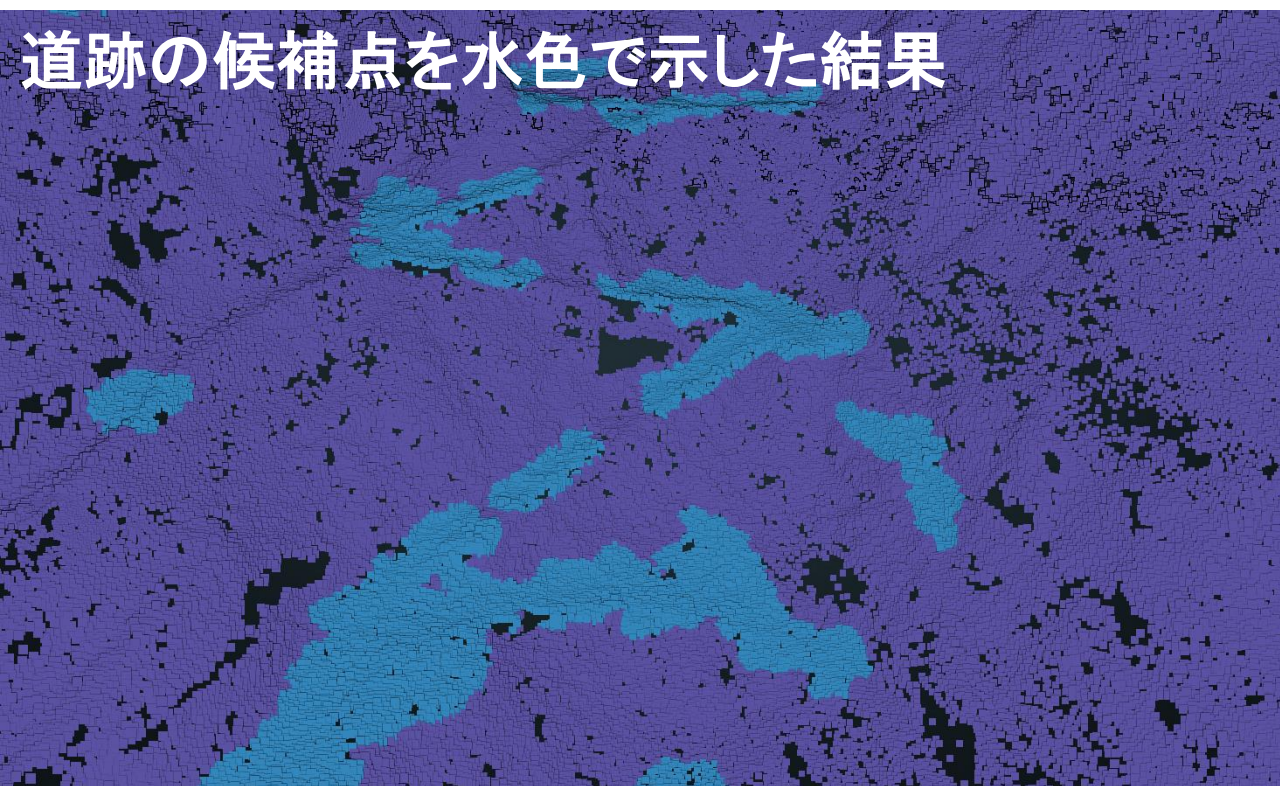
道跡(・石丁場)の検出: 連続性の検証

- 道跡は連続的に分布することを仮定し、対象外の点を除外(赤)しました
- 道のような輪郭を持つ点が緑色で示されています



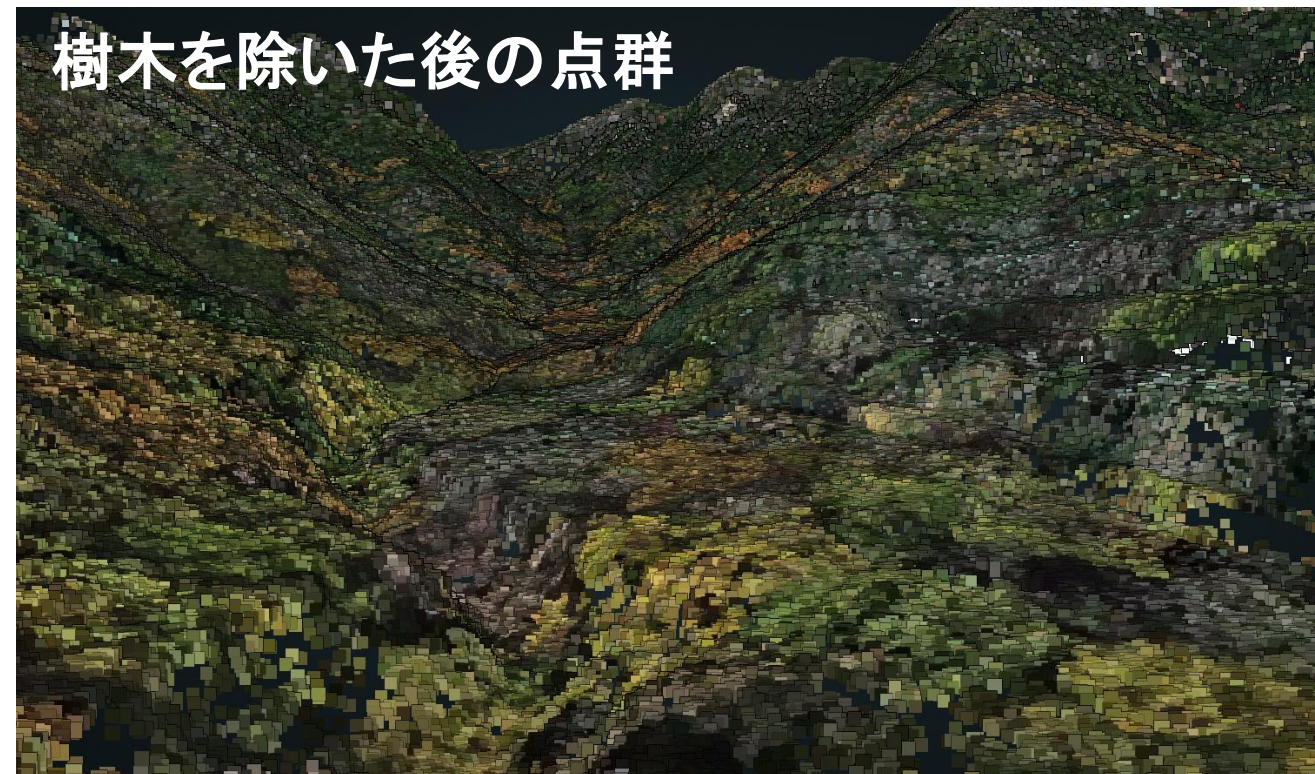
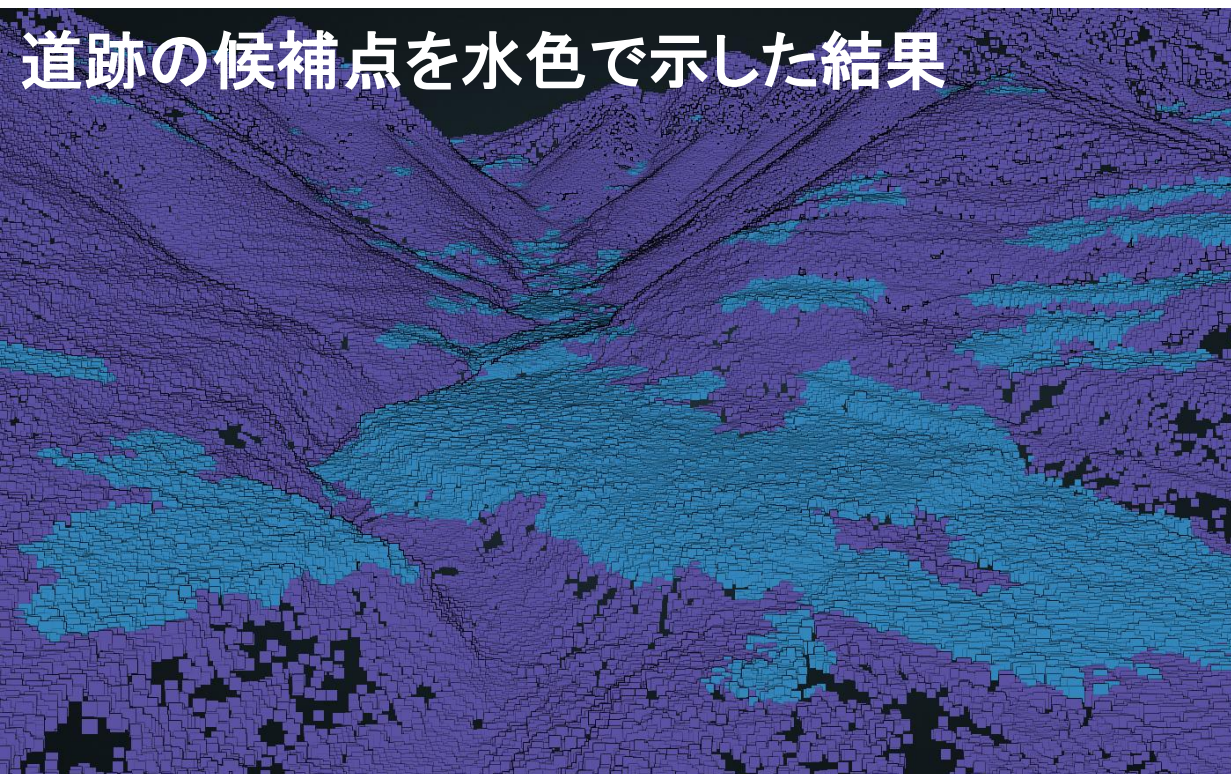
結果:道跡の候補点

- 左図では道跡の候補点を水色で示しています
- 右図は多くの樹木を除いた後の点群。目視では道跡の検出は難しいことがわかります



結果:道跡の候補点

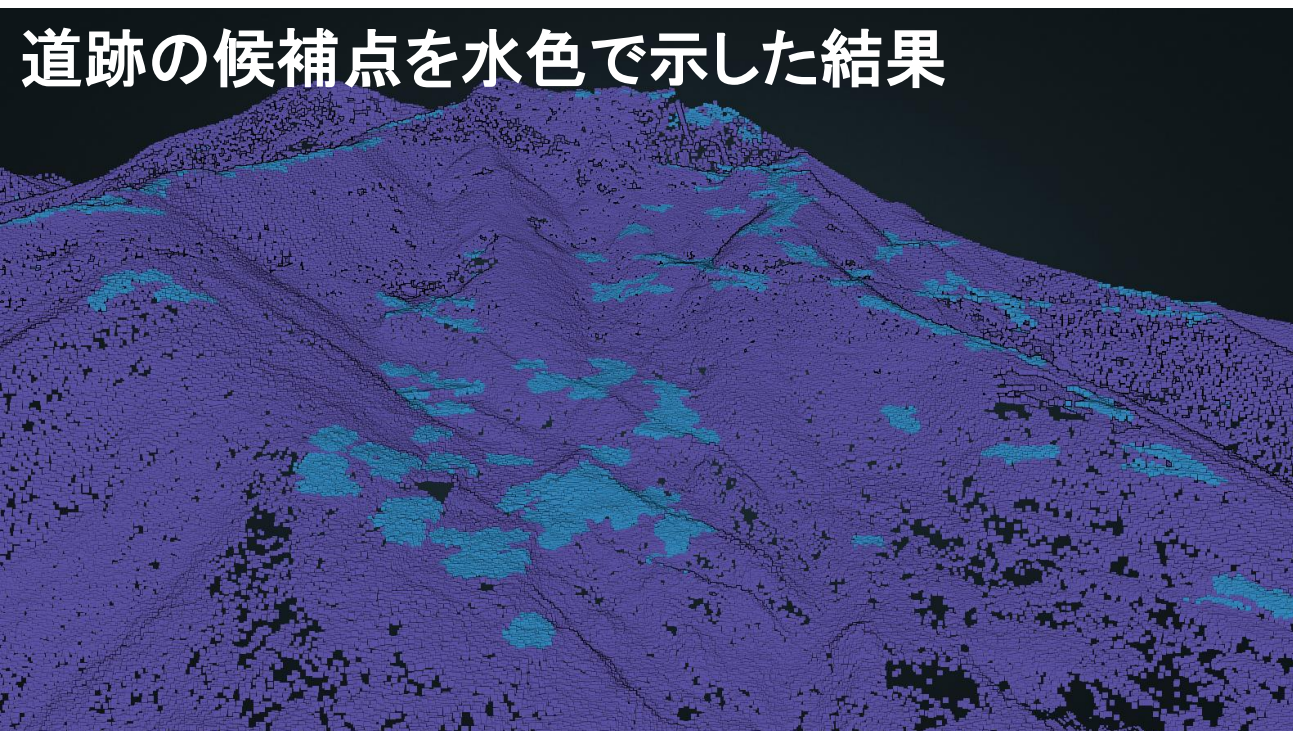
- 平坦な構造が続く部分を拡大して示しています
- 平坦な道が多くハイライトされていることがわかります



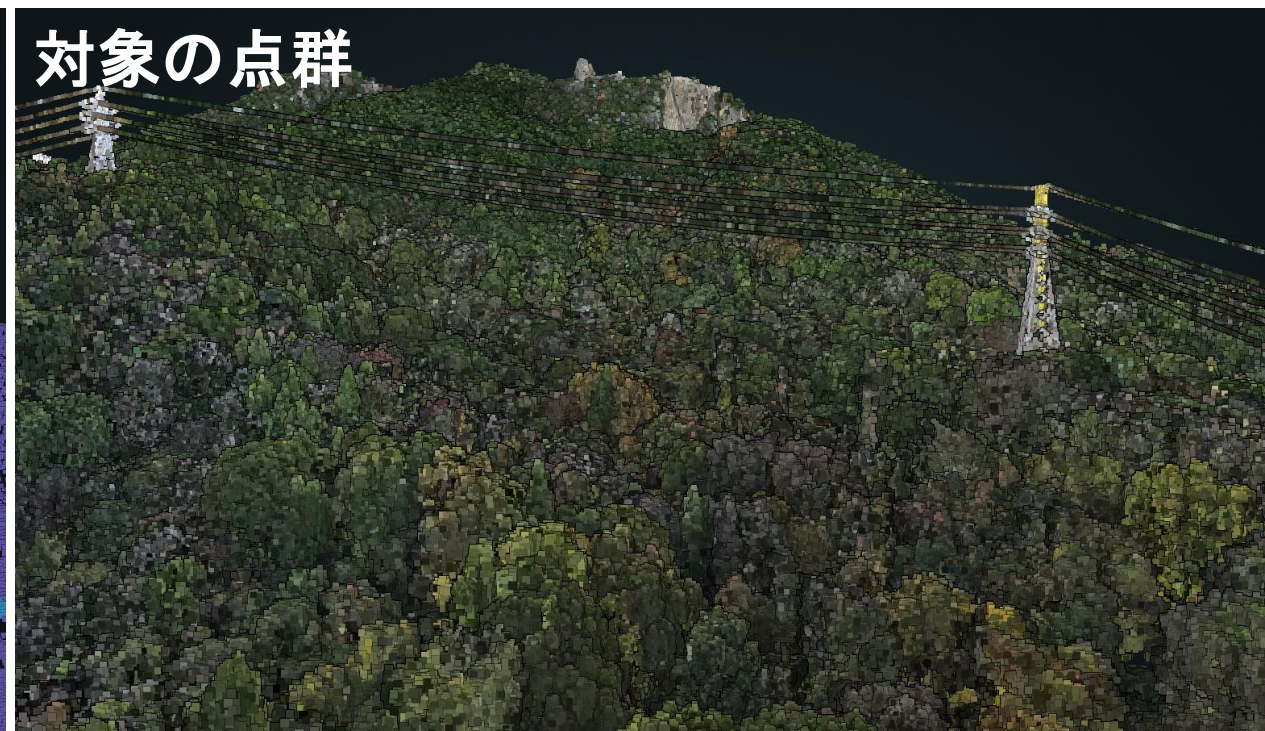
結果:道跡の候補点

- 広い範囲での結果を示しています
- 樹木下の平坦な構造を検出することができます

道跡の候補点を水色で示した結果



対象の点群



研究開発中の内容: センサーフュージョンを利用した点群処理

地上型レーザースキャナ (LiDAR) による計測

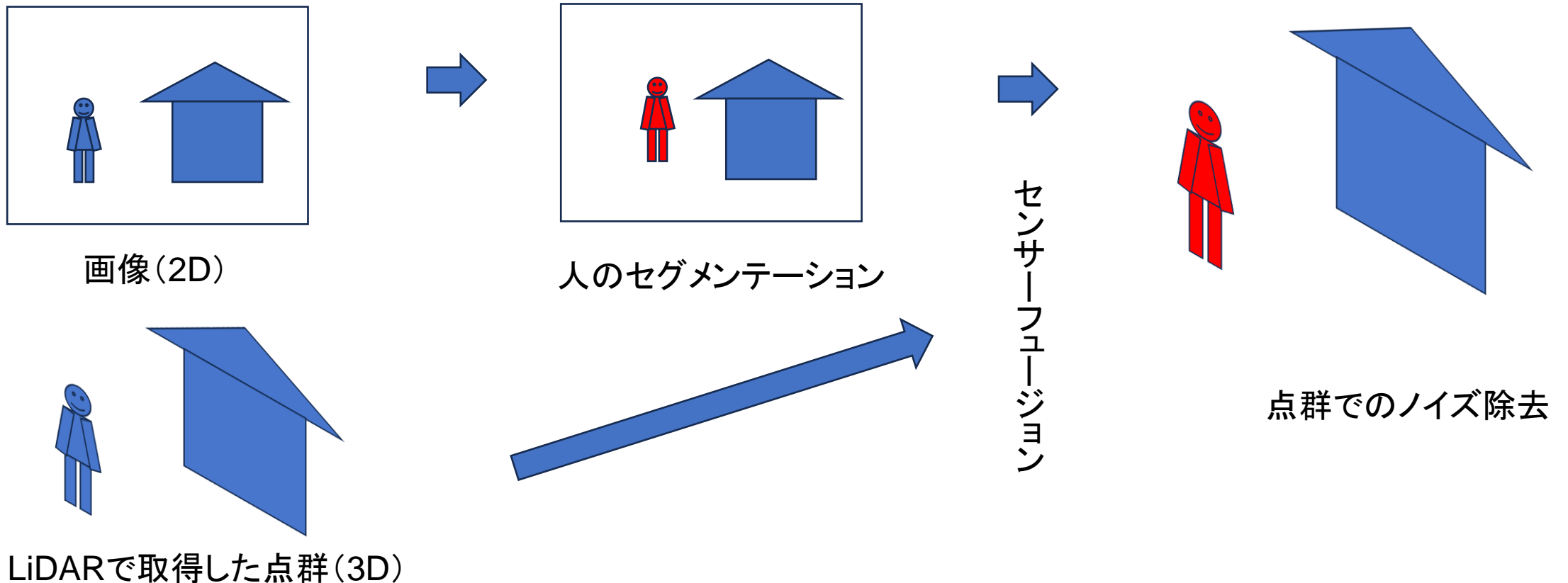
- 地上型レーザースキャナで点群を計測した場合画像も同時に取得されることが多い

➡ 画像から人などを検出できるのではないか



センサーフュージョンを利用したノイズ除去

- レーザースキャナ中のカメラ画像と点群とのセンサーフュージョン
- 画像上で人のセグメンテーションをし、その結果を点群上にマッピング→ノイズ除去



実験方法: センサーフュージョン

- 画像と3次元点群の位置関係を求める
- チェッカーボードを撮影し、以下の式の外部パラメータ行列を算出
- LiDARの計測地点が毎回異なるため、E57形式のセンサーの位置情報を抽出し補正

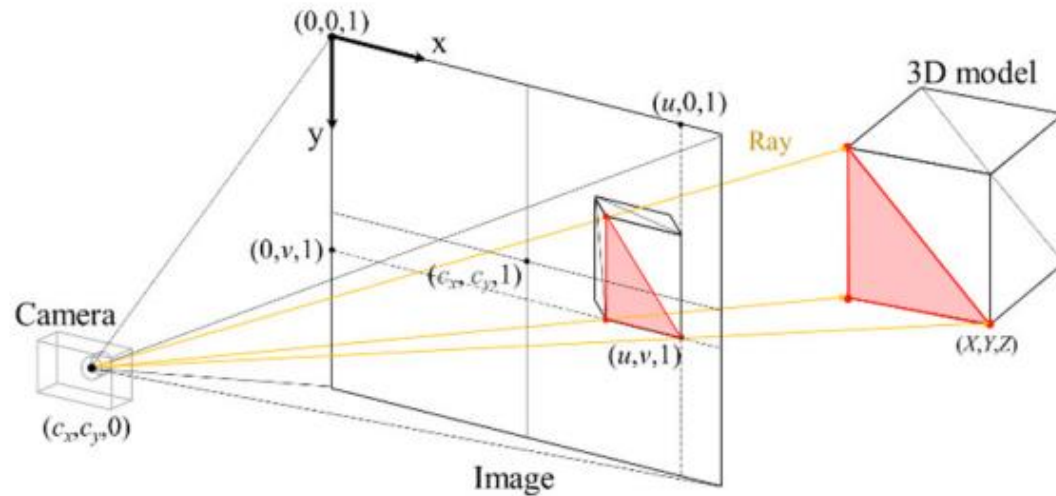


FIGURE 7 Relationship between camera, image, and 3D model

$$\underbrace{s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{画像座標}} = \underbrace{\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{\text{内部パラメータ}} \underbrace{\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix}}_{\text{外部パラメータ}} \underbrace{\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}}_{\text{ワールド座標}}$$

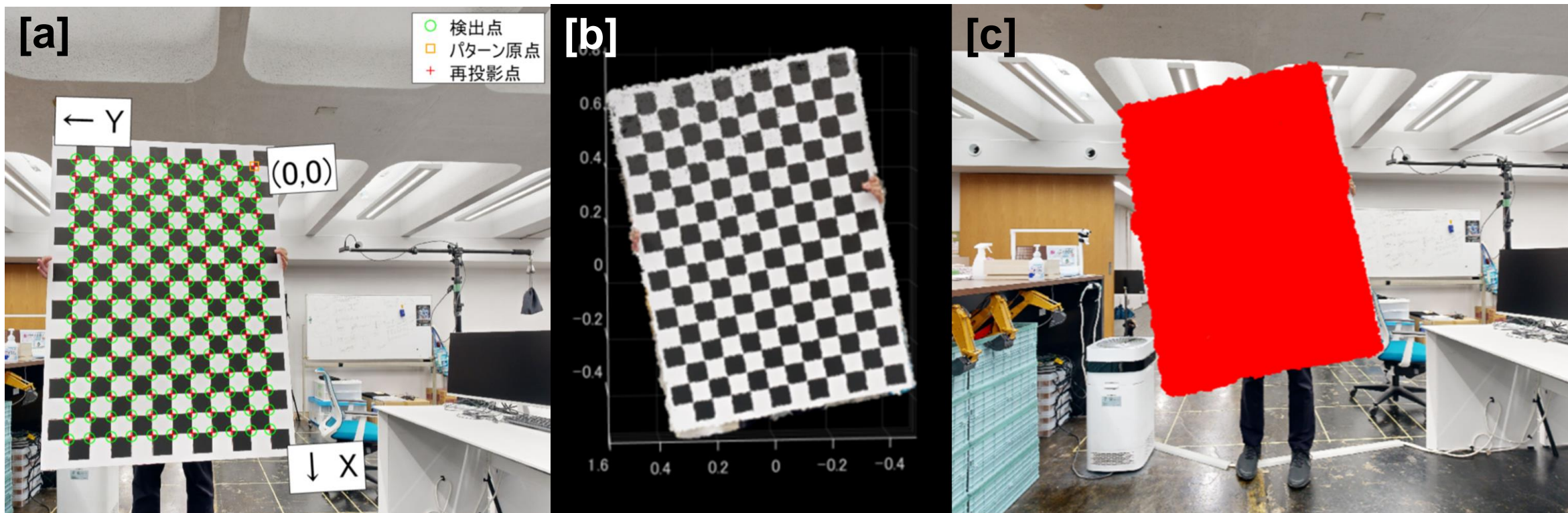
実験方法: ノイズ除去

- 深層学習を利用した学習済みモデル(SOLOv2)を利用し、スキャナから取得した画像中の人の領域をセグメンテーション
- 人の領域を点群に反映し点群においてノイズ除去
- 対象の点群データと画像を参照して手動で人の点群を特定・切り取りを行い、手動で切り取ったデータとノイズとして分類された点群を比較して精度評価を実施



結果: センサーフュージョン

- 画像および点群のチェッカーボードの角の情報などを利用
- [c]のように点群を精度よく画像に投影することができた



画像からチェッカーボードの認識

チェッカーボードの点群

チェッカーボードの点群を画像に投影

LiDARとカメラのセンサーフュージョンによるノイズ除去

- 人を対象として、ノイズ除去を実行: 結果を赤で表示



関連論文

□ 本セクションの内容の関連論文として以下のものが挙げられます

- 板倉健太、林拓哉、上腸優人、全邦釘(2024). セマンティックセグメンテーションやセンサーフュージョンを利用した橋梁の構造情報の推定のための点群処理手法の開発. 土木学会AI・データサイエンス論文集, 受理済み.
プレプリント: <https://jxiv.jst.go.jp/index.php/jxiv/preprint/view/866>
- 板倉健太、林拓哉、上腸優人、全邦釘(2024). LiDARとカメラのセンサーフュージョンによる点群からのノイズ除去. 土木学会AI・データサイエンス論文集, 受理済み.
プレプリント: <https://jxiv.jst.go.jp/index.php/jxiv/preprint/view/865>



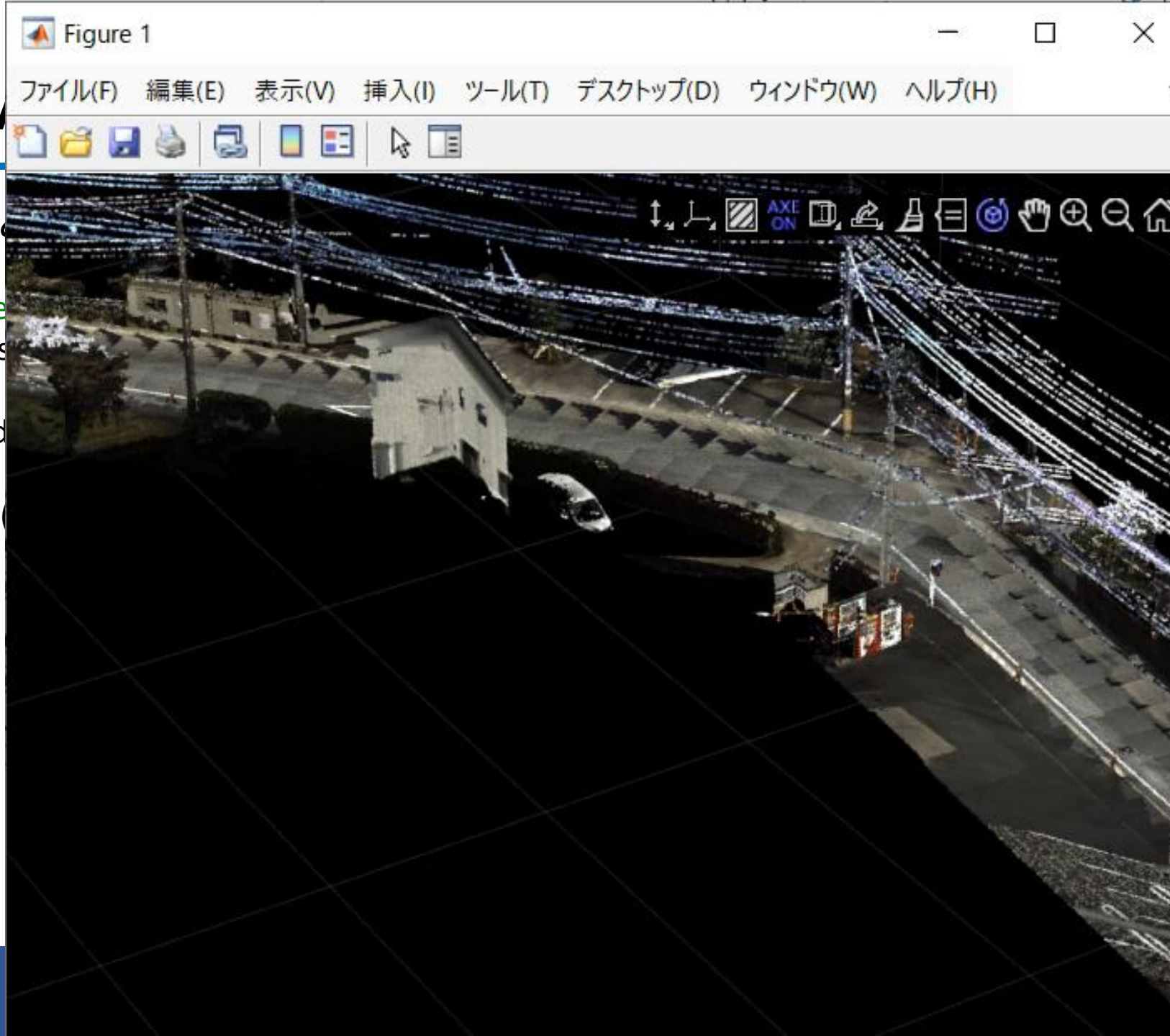
なぜMATLABか

- 3次元点群の読み込み・書き込みや点群処理のコードが簡単に記述できる
- 環境構築の手間がほとんどなく、メインの開発に集中することができる
 - コーディングの時間は最小限にとどめ、方針の検討や考察に最大限時間を割くことができる

なぜM

□ 点群の読

```
% lasFileRead  
lasReader = las  
% 点群データ  
ptCloud = read  
% 点群データ  
figure;pcshow
```



る

e)).T

納する

or(points)

or(colors/(2 ** 16 - 1))

oud])

MATLABとPythonの比較: 読み込みと可視化

□ 点群の読み込みと可視化: PythonのOpen3dが有名です

```
% lasFileReaderオブジェクトを作成します
lasReader = lasFileReader(inputFile);
% 点群データを読み込みます
ptCloud = readPointCloud(lasReader);
% 点群データを可視化します
figure;pcshow(ptCloud);
```

MATLAB

```
import open3d as o3d
import laspy
# 点群の読み込み
las = laspy.read(inputFile)
# pointsにxyz座標の値を格納する
points = np.array([las.x, las.y, las.z]).T
# open3dで点群用のジオメトリを作成する
pointCloud = o3d.geometry.PointCloud()
# カラー情報の配列を用意する
colors = np.vstack((las.red, las.green, las.blue)).T
# ポイント属性とカラー属性に配列を格納する
pointCloud.points = o3d.utility.Vector3dVector(points)
# 0から1に色情報をスケールリングする
pointCloud.colors = o3d.utility.Vector3dVector(colors/(2 ** 16 - 1))
# Open3dによる可視化
o3d.visualization.draw_geometries([pointCloud])
```

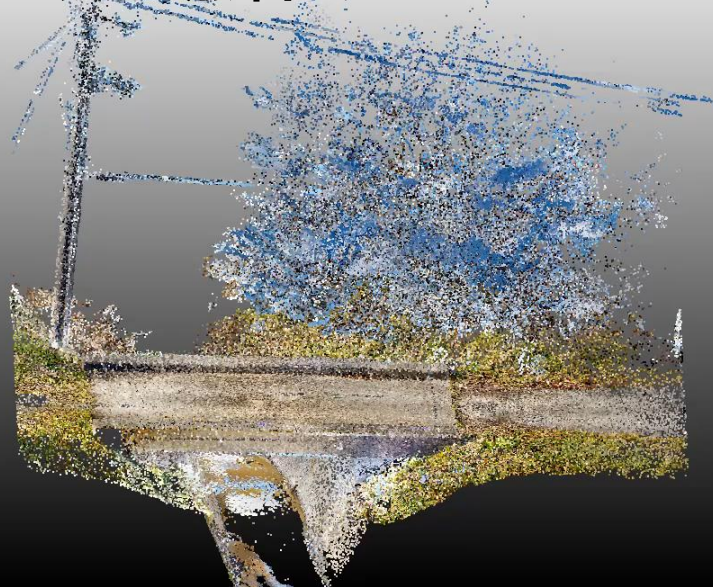
Python



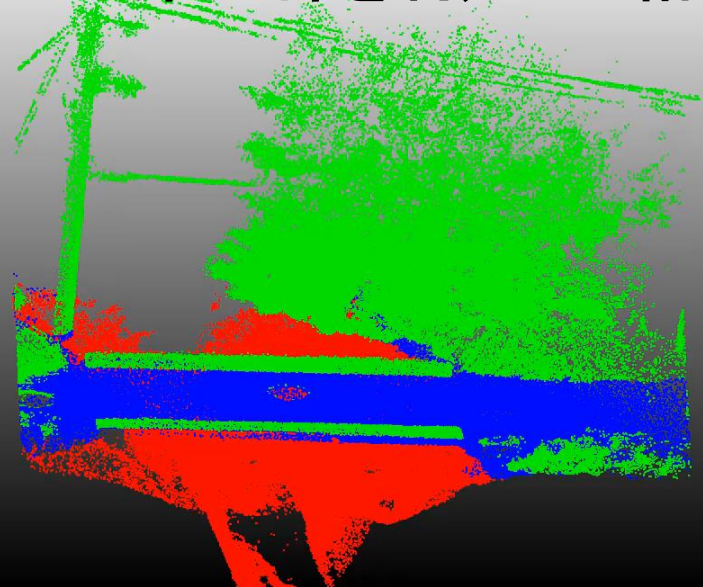
MATLABとPythonの比較: 平面の検出

- 点群から平面を自動的に検出することがよくあります
- 道路面を抽出したり、平面の点の上部/下部を取り出したりします

対象の3次元点群



平面の上部/下部を判定した結果



MATLABとPythonの比較:平面の検出

□ 平面検出: Pythonの場合はOpen3dを利用しています

```
ptCloud = pcread(inputFile);  
[mdl,inlier,outlier] = pcfitplane(ptCloud,0.01);  
pcInlier = ptCloud.select(inlier);  
pcshow(ptCloud); hold on;  
plot(mdl)
```

MATLAB

```
import open3d as o3d  
pcd2 = o3d.io.read_point_cloud(inputFile)  
plane_model, inliers =  
pcd2.segment_plane(distance_threshold=0.01,  
ransac_n=3,  
num_iterations=1000)  
inlier_cloud = pcd2.select_by_index(inliers)  
inlier_cloud.paint_uniform_color([1.0, 0, 0])  
outlier_cloud = pcd2.select_by_index(inliers, invert=True)  
o3d.visualization.draw_geometries([inlier_cloud, outlier_cloud])
```

Python



なぜMATLABか(一部再掲)

- 3次元点群の読み込み・書き込みや点群処理のコードが簡単に記述できる
- 環境構築の手間がほとんどなく、メインの開発に集中することができる
 - コーディングの時間は最小限にとどめ、方針の検討や考察に最大限時間を割くことができる
- プログラムがメインの業務に見えるが、実際は、その背後にある原理や仕組み、数式の意味などをできるだけ深く知ることが重要。その作業に多くのリソースを割くことができる

まとめ

- 多岐にわたる種類の解析をMATLABにて一気通貫で行うことができ、研究開発をスムーズに進めることができます
- Pythonなどのその他のプログラミング言語やツールなども利用しながら日々点群処理を行っています
 - それぞれのプログラミング言語やツールの長所を知らながら最適な方法を日々模索する必要があると考えています

その他

- 学生インターンや研究員（非常勤）のメンバーを募集しています。経験やスキルに応じて、業務内容や条件を柔軟に調整いたします。興味のある方はぜひご連絡ください。

連絡先: kentai@imvisionlabs.com

- 9月18日の日本生物環境工学会のオーガナイズドセッションにて招待講演を行います。「博士課程で描くキャリアの未来：ディープテックと起業の選択」というテーマで発表を行います。当日ご参加される方がいらっしゃいましたらお声がけいただけると嬉しいです

