

**東京都デジタルサービス局**

**点群活用手順書**

# 目次

本手順書の位置付け	3
-----------	---

---

飛行エリア選定プログラム	5
--------------	---

---

ルート選定（点群活用）プログラム	11
------------------	----

---

留意事項	21
------	----

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# 本手順書の位置付け

本資料は、東京都の点群データ活用プロジェクトにおける参考実装について、活用の考え方、導出されるアウトプット、今年度の導出過程・結果を整理することを目的とする

## 手順書の背景と対象

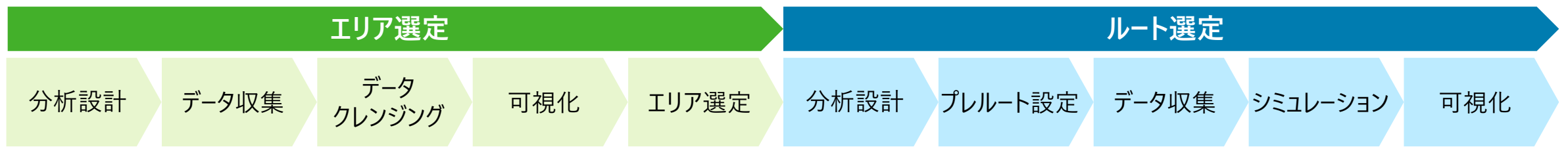
### 本書の背景

- 現状、ドローンメーカーやサービサーが飛行経路選定において、多大な工数を擁しており、ツール等を利用したルート選定の省力化が求められている
- 東京都にてデジタルツインシステムの準備を進めており、ドローン飛行経路選定において活用が期待される
- 下記 2 点のシステムの構築を実施した
  - ① デジタルツインシステムを用いた飛行エリア選定
  - ② 点群データを用いた飛行経路の安全性評価

### 本書の目的・対象読者

- ドローン飛行経路選定と安全性評価を行うにあたって、東京都内でドローン実装を考える事業者あるいは実証実験の候補地を探索する主体を想定し、システムの利用方法を定める
- また本プロジェクトで生成されるシステムを動作させる対象としては、Pythonコードが理解できる/一定のプログラミング経験があるものを対象とする

### 上記を踏まえた今年度ルート選定までの想定フロー



本ライブラリはOSSとして公開しており、エリア選定では、地理空間データの解析・加工・可視化を行い、ルート選定では、3D飛行ルート設定とルート内のリスクを可視化する

## 分析の流れ

### エリア選定

地理空間データの解析を行い、地図上にマッピングする  
→ドローンの飛行に適したエリアが可視化できる

### ライブラリ構成

requirementsヒートマップ

geopandas==1.1.2

numpy==2.4.2

pandas==3.0.1

plotly==6.5.2

shapely==2.1.2

### ルート選定

任意に設定した飛行ルートとエリア内の点群データを評価し、安全面で問題がある箇所を3次元で可視化する  
→ドローンの3D飛行ルート設定とルート内のリスクが可視化できる

### ライブラリ構成

requirementsルート計算

pydeck==0.9.1

pandas==3.0.1

laspy==2.6.1

pyproj==3.7.2

matplotlib==3.10.7

scipy==1.16.3

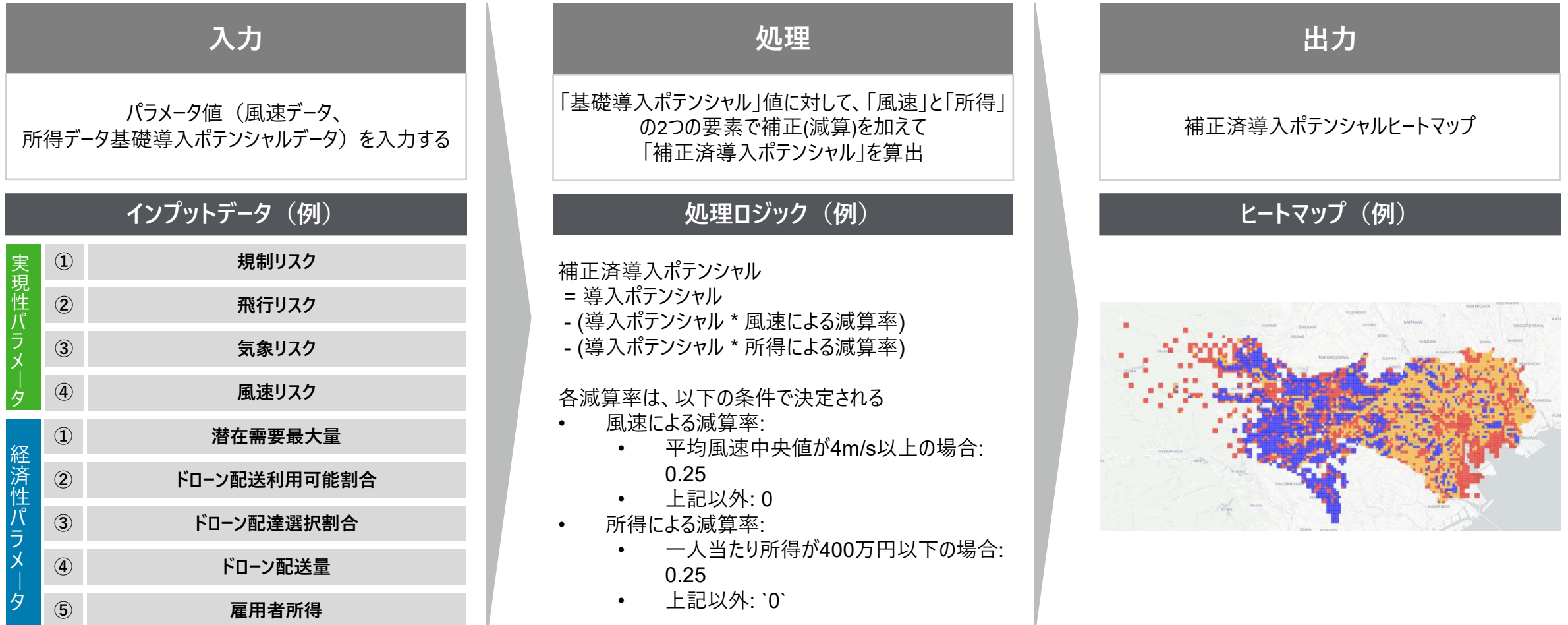
shapely==2.1.2

numpy==2.4.3

# 飛行エリア選定プログラム

# 飛行エリア選定プログラムは、入力したパラメータ値から補正済導入ポテンシャルを算出し、補正済導入ポテンシャルヒートマップを導出する処理を実施する

## 分析の流れ



※本実装は複数の指標を元に導入ポテンシャルを補正するサンプル実装となるため、実際には導入実態にあわせてより複雑な計算式を設計する必要がある

# パラメータ値のうち、規制リスク/飛行リスク等は基礎導入ポテンシャルデータとして同梱済みであり、その他の基礎データについては、各省庁からオープンデータをダウンロードする必要がある

## 使用するパラメータ値

実現性パラメータ	①	規制リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 小型無人機飛行禁止法に基づき飛行禁止区域の上空を飛行禁止とする</li> <li>● 0は飛行禁止/1は飛行可能</li> </ul>
	②	飛行リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メッシュ当たり可住面積/総面積及び労働生産人口/総人口を統計的処理により合成</li> <li>● 高ければ高いほどリスク高い</li> </ul>
	③	気象リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メッシュ当たり降雨量と降雪量を0~1に正規化し合成</li> <li>● 高ければ高いほどリスクが高い</li> </ul>
	④	風速リスク	<ul style="list-style-type: none"> <li>● メッシュ当たり風速の中央値を0~1に正規化</li> <li>● 高ければ高いほどリスクが高い</li> </ul>
経済性パラメータ	①	潜在需要最大量	<ul style="list-style-type: none"> <li>● シンクタンク調査データより算出された年間受領量</li> <li>● 高ければ高いほど経済性が高い</li> </ul>
	②	ドローン配送利用可能割合	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 土地利用区分(大規模集合住宅・再開発戸建て等)から算出したドローン配送が可能な面積割合</li> <li>● 高ければ高いほど経済性が高い</li> </ul>
	③	ドローン配達選択割合	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 普及曲線を基に定めたドローン配送が選択される割合</li> <li>● 高ければ高いほど経済性が高い</li> </ul>
	④	ドローン配送量	● ①×②×③を0~1に正規化したもの
	⑤	雇用者所得	● 市区町村毎の、雇用者所得を0~1に正規化

## 基礎導入ポテンシャルデータ（基礎データとして同梱）

都道府県	市区町村	ドローン飛行禁止	ドローン飛行可能	Restaurant	Food beve
北海道	苫小牧市 字高丘丘陵	7	3.4285714	0	0.096467
北海道	苫小牧市 字高丘丘陵	10	10.3	0	0.413738
北海道	苫小牧市 字高丘丘陵	10	10.8	0	0.4351749
北海道	苫小牧市 美園町3丁目	5	45.8	0	0.9196554
島根県	浜田市 弥栄町栃木	5	0	0	0
島根県	浜田市 弥栄町栃木	5	0	0	0
島根県	浜田市 弥栄町栃木	5	0	0	0
島根県	浜田市 弥栄町栃木	5	0	0	0
大分県	豊後高田市 田染小崎	0	0	0	0

## その他基礎データ（要クレンジング）

### 風速リスク



<https://www.data.jma.go.jp/risk/obsdl/index.php>  
気象庁より取得

### 雇用者所得（総務省より取得）

市区町村税課税状況等の調	
令和3年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
令和3年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
令和2年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
令和2年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
令和元年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
令和元年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成30年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成30年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成29年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成29年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成28年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成28年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成27年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)
平成27年度	市区町村税課税状況等の調 (国民健康保険課)

市区町村税課税状況等の調  
総務省より取得

各省庁からダウンロードした基礎データは、そのままでは可視化に用いることができないため、メッシュデータへマッピングするためのクレンジングを実施する必要がある

## データクレンジング

ダウンロード生データ				可視化用データ									
都道...	▽	団体名	▽	表側	▽	総所得金額等	▽	CentroidX	▽	CentroidY	▽	一人当たり所得	▽
北海道		札幌市		市町村民税		2886895272		139.664838		35.705525		4320.0197393348935	
北海道		札幌市		道府県民税		2883484424		139.670321		35.705525		4320.0197393348935	
北海道		函館市		市町村民税		312974911		139.664838		35.701018		4320.0197393348935	
北海道		函館市		道府県民税		312943534		139.670321		35.701018		4320.0197393348935	
北海道		小樽市		市町村民税		122248437		139.544208		35.714538		5423.8728892533645	
北海道		小樽市		道府県民税		122228696		139.549691		35.714538		5423.8728892533645	
北海道		旭川市		市町村民税		412720773		139.544208		35.710031		5423.8728892533645	
北海道		旭川市		道府県民税		412680666		139.549691		35.710031		5423.8728892533645	
北海道		室蘭市		市町村民税		104306442		139.610006		35.633418		5721.772185254772	

クレンジング

- ダウンロードしてきたデータは、メッシュではなく市区町村単位でまとめられていることから、緯度経度情報に変換する必要がある
- また、納税額で示されていることから割り戻し一人当たり所得に変換する必要がある

本事業の中ではクレンジング用のコードをincome\_converter.pyといった形式で同梱。参考にしながらクレンジングの実施が可能

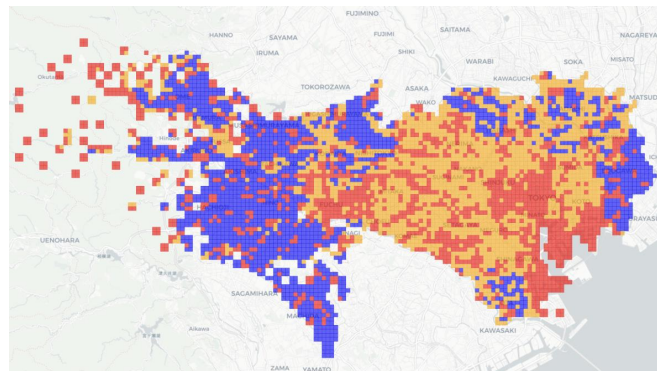
# 参考実装では、pythonを利用して比較的簡易な記述で、 導入ポテンシャルの計算や計算式のカスタマイズができるようなプログラムを実装

## 分析結果の可視化

### 例①

- 風量/風向や平均所得といったデータで補正したヒートマップ
- 赤色に近いほど導入難易度高い地域になる

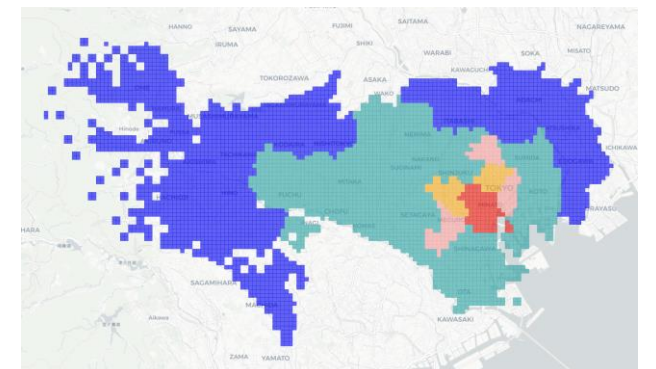
```
plot_facility_by_qcut(  
    {  
        "導入ポテンシャル低" : "#0000FF",  
        "導入ポテンシャル中" : "#FFA500",  
        "導入ポテンシャル高" : "#FF0000"  
    },  
    df_read,  
    "補正済導入ポテンシャル", 3,  
    ["導入ポテンシャル低", "導入ポテンシャル中", "導入ポテンシャル高"]  
).write_html("output/市場性可視化東京都_導入ポテンシャル.html")
```



### 例②

- 平均所得データのみをマッピングした結果
- 都心に近いほど一人当たり所得が高いという実態が綺麗に出ている

```
plot_facility(  
    {  
        "400万円未満" : "#0000FF",  
        "400万円以上" : "#00A5A5",  
        "600万円以上" : "#FF9999",  
        "800万円以上" : "#FFA500",  
        "1000万円以上" : "#FF0000"  
    },  
    df_read,  
    "一人当たり所得", {  
        None: (lambda x: x is None),  
        "400万円未満": (lambda x: x < 4000),  
        "400万円以上": (lambda x: 4000 <= x),  
        "600万円以上": (lambda x: 6000 <= x),  
        "800万円以上": (lambda x: 8000 <= x),  
        "1000万円以上": (lambda x: 10000 <= x),  
    }, default = None)  
).write_html(["output/市場性可視化東京都_所得.html"])
```





# ルート選定（点群活用）プログラム

# 今回の参考実装は、飛行ルートを自動探索するのではなく、事前に決まっているエリアに対して安全高度を割り出し、リスクが高い箇所を可視化する考え方を採用している

## 点群データ活用の考え方

参考実装での対象範囲		
地形の簡易的な3D可視化	対象	● 地図に点群データを描画し、地形の起伏を視覚的に確認することができる
地形の詳細な3D可視化	対象外	-
内部構造の3D可視化	対象外	-
安全高度算出	対象	● ドローンの飛行ルートに対する建造物への接近判定と安全高度を算出することができる
障害物接近判定	対象	● ドローンの飛行ルートに対する建造物への接近判定と安全高度を算出することができる
風データを加味した参考評価	対象	● 風や波などの被害を事前に予測するための参考データとして算出することができる
リアルタイムなデータ連携	対象外	-
留意点		<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ 詳細な形状確認やリアルタイム状態把握には限界がある</li> <li>➢ 大量点群の高精細処理には、より高度なプラットフォーム(UnityやUnreal Engine)や点群データの変換技術の導入が必要となる</li> <li>➢ より高精度な風量/風向きデータを用いた影響計算には日本気象協会が公開しているデータ(有料)の利用が必要となる</li> </ul>

点群データから導出されるアウトプットにより、飛行ルートにおける安全高度や接近リスクや、対象エリアの3D地形条件を可視化するなどのユースケースが想定される

## 導出アウトプットと想定ユースケース

### 導出アウトプット

- ① 飛行ルートに対する安全高度の自動計算結果
- ② 障害物との接近度合いに応じた危険箇所の色分け表示
- ③ 地形・建造物・ルートの位置関係を示す3D可視化結果
- ④ 必要に応じて、風向・風速を加味した飛行コスト / 補正の参考値

### 想定ユースケース

- 新しい飛行ルート候補について、安全高度や接近リスクを確認したい場合
- 点群データを取得し、対象エリアの地形条件を3Dで確認したい場合
- 橋梁付近等、部分的に高度制約が異なるルートを検討したい場合
- 参考実装を用いて、点群データ活用のイメージや判断基準を関係者に説明したい場合

# ルート選定（点群活用）プログラムは想定ルートに対し、点群との距離評価と高度指定条件をもとに安全高度を探索し、安全高度付きルート・危険箇所表示・3D表示を導出する

## 分析設計

### 入力

接近判定条件  
(ライブラリに同梱)

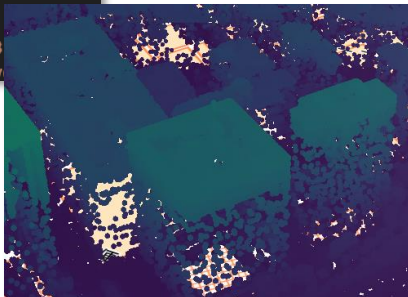
プレ飛行ルートデータ  
(GeoJSON形式)

点群データ

高度指定エリア  
(プレ飛行ルートデータに付帯)

### 入力データ

```
{  
  "terrain": {  
    "mode": "pointcloud",  
    "pointcloud_options": {  
      "target_ratio": 0.03,  
      "k_mad": 300  
    }  
  },  
  "route": {  
    "mode": "file",  
    "file_path": "data/route3",  
    "file_type": "before_conv"  }  
}
```



### 処理

ルートを細かく区切って周辺点群との距離を評価し、安全高度を探索

### 処理ロジック

- 高度指定のある区間は、その指定高度を使用する
- 指定のない区間は、周囲の点群に近づきすぎないように高度を少しずつ上げて「安全な高さ」を探索する
- 次の高度指定までの区間では、その区間で必要となる最大の安全高度を採用し、基本的に途中で高度を下げない
- 高度が変わるタイミングでも周囲への接近判定を行い、危険があれば注意表示とする
- 風データを使う場合は、簡易なベクトル加算により飛行への影響を参考値として算出する

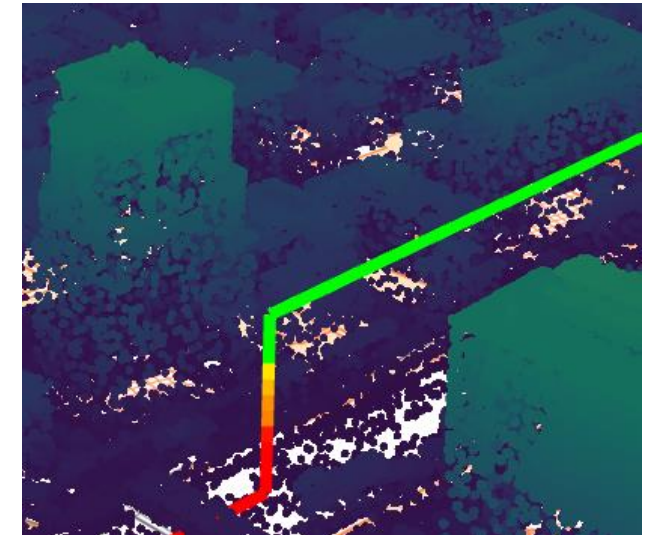
### 出力

安全高度付きルート

危険箇所表示

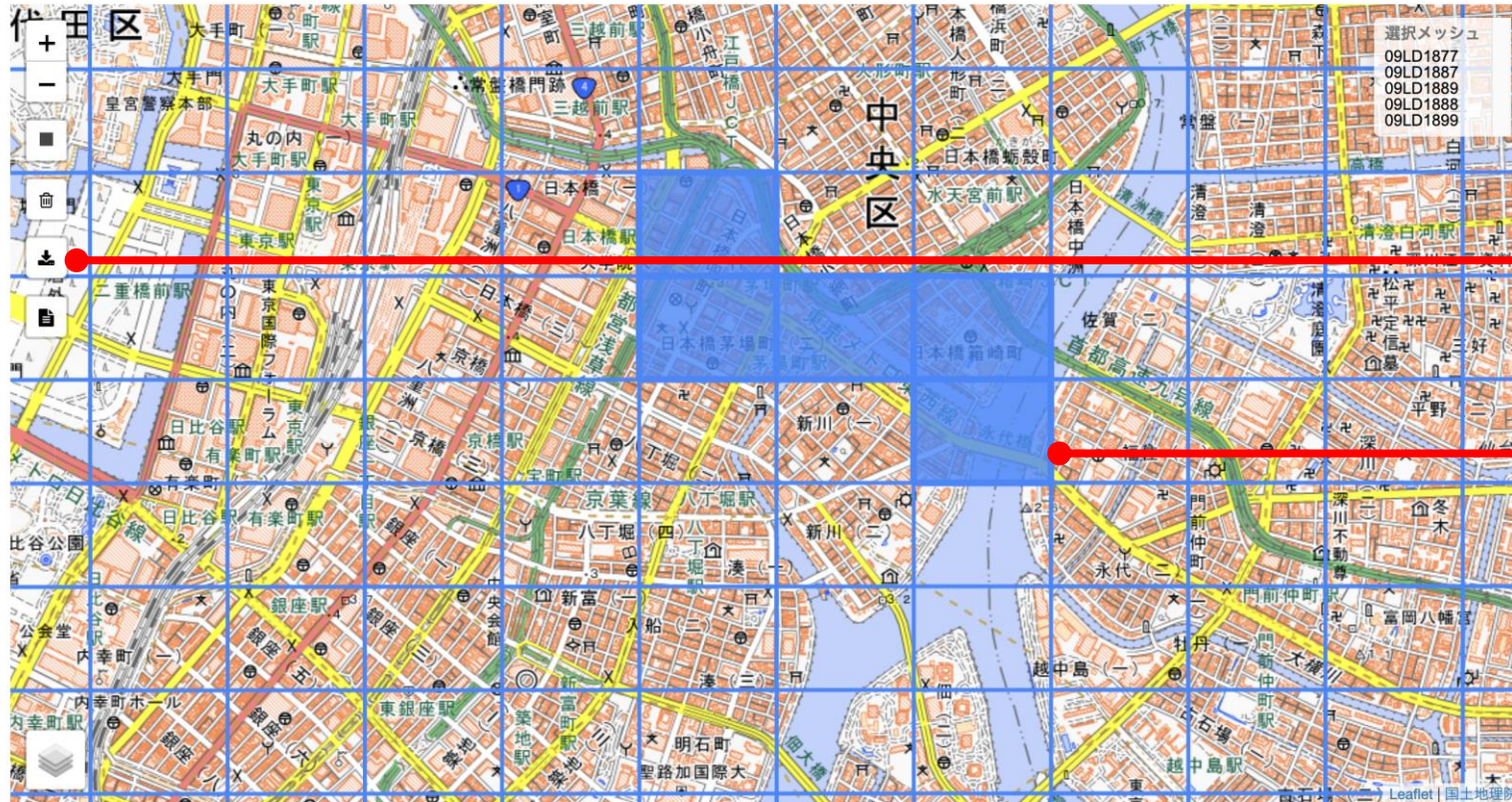
3D表示

### 出力データ



点群を表示するためには、地表面データを取得する必要がある  
データの取得は[本リンク](#)から実施する

## 点群データの収集



### 選択済み点群

選択済みの点群はここにリストアップされる

### 点群のダウンロード※

本ボタンを押す事によって、ダウンロードすることができる

### ダウンロード範囲の指定

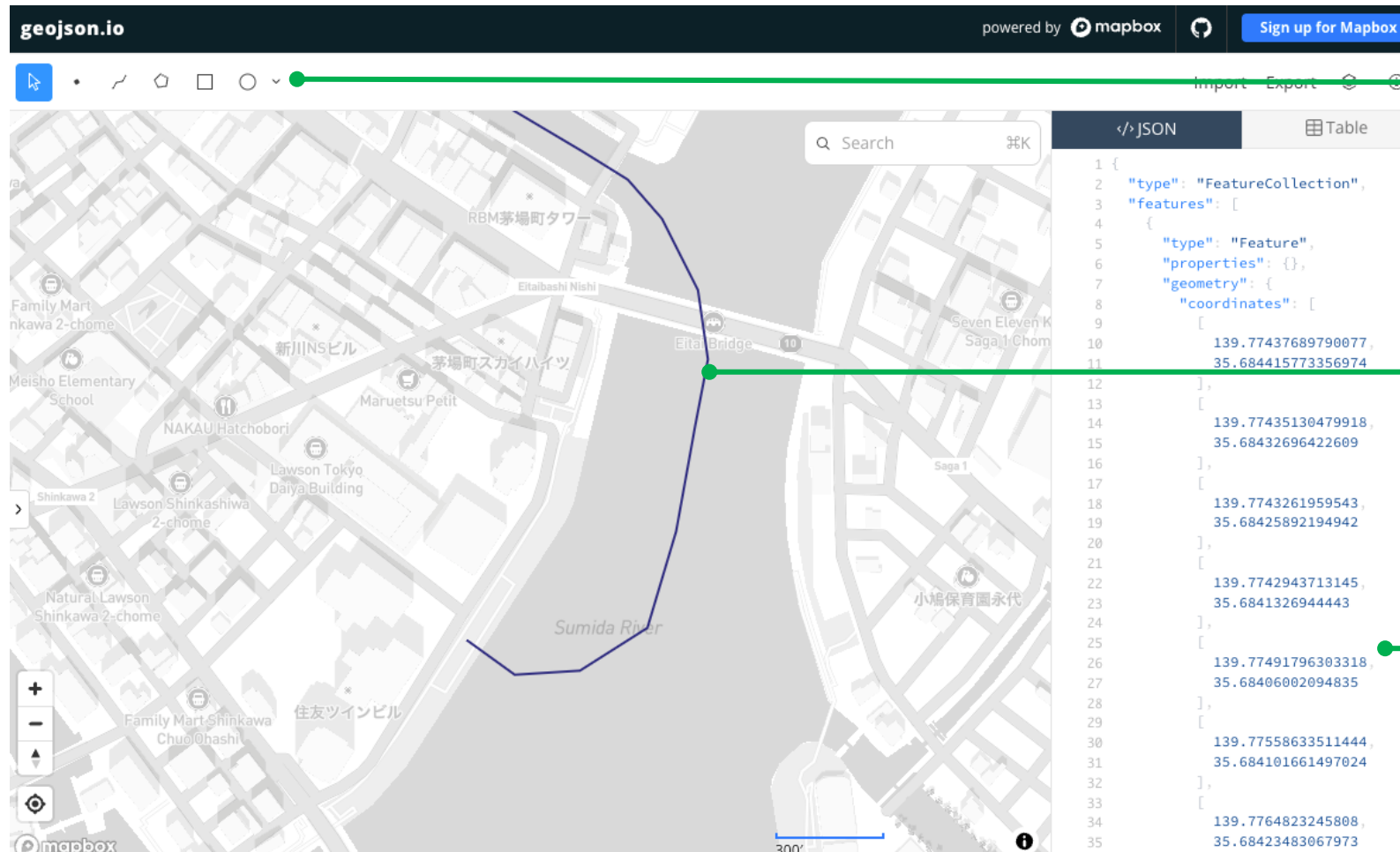
地図上からダウンロードしたい点群の範囲を指定する

※ダウンロードした点群データはzipファイルで圧縮されてるため、解凍したファイルを所定のフォルダに配置する

なお、別途受領した橋の点群データはファイルサイズが大きく、処理できないため、前処理として専門的な手順で軽量化する必要がある  
(配置場所は本手順でダウンロードした点群データと同じである)

# 2Dの飛行ルートをGeoJsonという地図上の図形を文字列で表現した形式で作成する GeoJson.ioというWebサイトにて容易に作成可能である

## プレ飛行ルート設定 -1/3-



### 図形

点・線・多角形などのツールを使って、直感的に地図上に図形を表現することができる

### 走行ルート

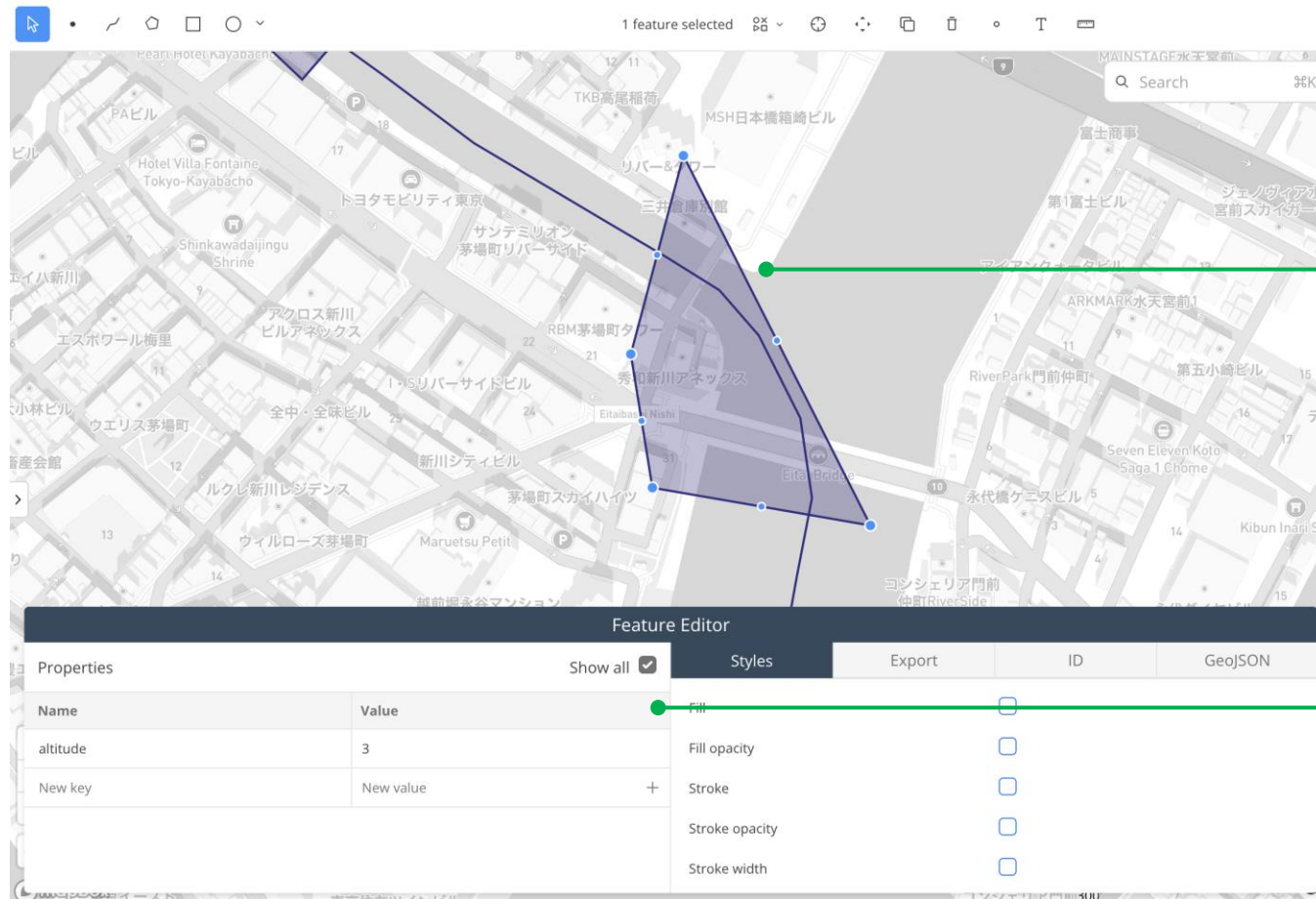
線ツールを利用して描画することができる

### GeoJson

表示される文字列がGeoJsonであり、本文  
文字列内に描画した図形の全情報が含まれて  
いる。本文文字列をコピーして\*.json という拡張  
子のファイル名で保存し、所定のフォルダ配置  
する

# GeoJson.io上では2Dの飛行ルート of 任意の範囲に高度の情報を付与することができる

## プレ飛行ルート設定 -2/3-

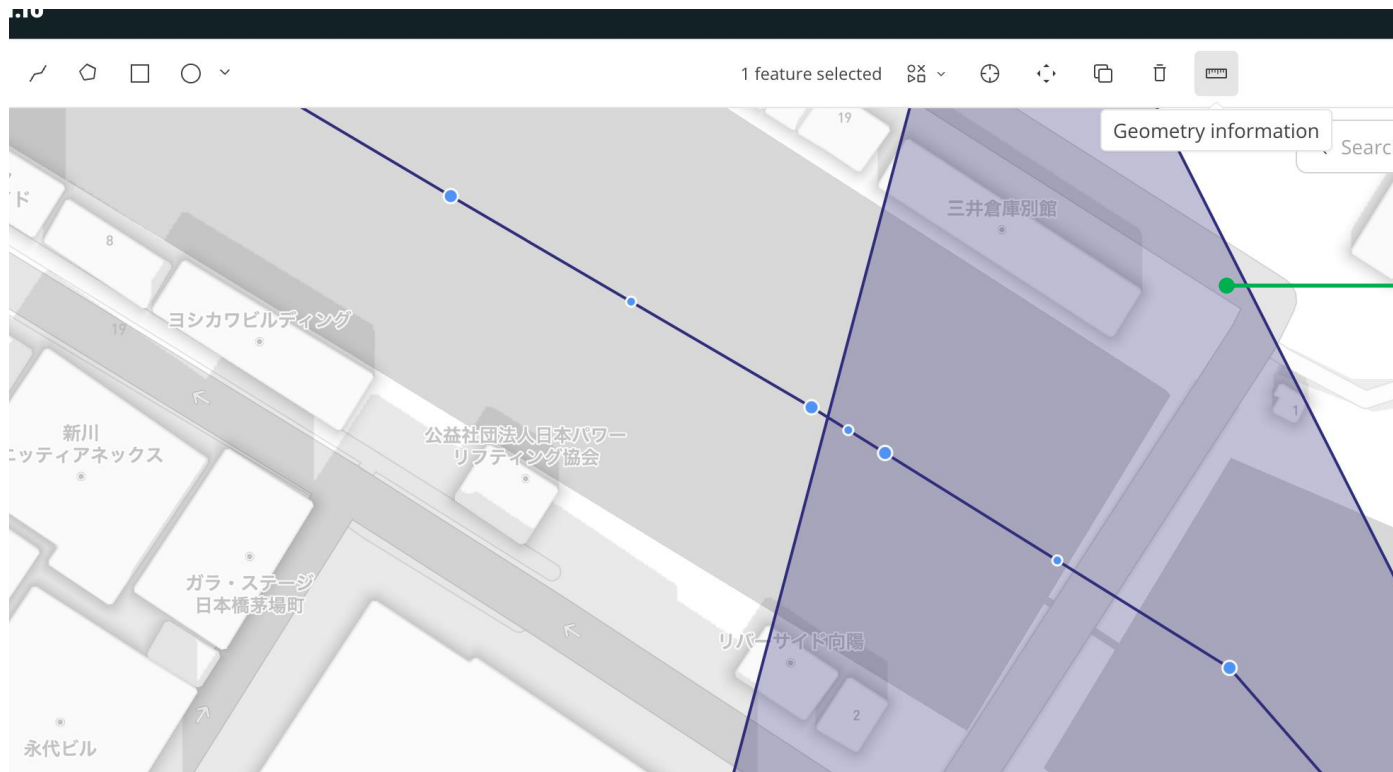


**高度範囲の指定**  
多角形で高度指定したい範囲を指定

**高度の指定**  
多角形を選択すると、FeatureEditorが表示される altitudeという設定値を追加して、高度をメートルで指定する事により、その範囲だけ特定の高度を強制できる

# 参照実装においては高度の判定は一定区間ごとに実施する

## プレ飛行ルート設定 -3/3-



### 高度範囲の指定

参考実装では高度の判定は線の区切り事に行われる  
多角形に出入りする周辺で線が区切れるようにして分割する

# シミュレーションの実施において、3次元点群との接近判定条件を定義する必要がある 参照実装においては下記のプログラムにおいて設定可能

## シミュレーション実施設定

```
{
  "terrain": {
    "mode": "pointcloud",
    "pointcloud_options": {
      "target_ratio": 0.03,
      "k_mad": 300
    }
  },
  "route": {
    "mode": "file",
    "file_path": "data/route3.json",
    "file_type": "before_conversion",
    "nearest_point": {
      "subsample": true,
      "target_ratio": 0.03,
      "k_mad": 300,
      "spacing_m": 5.0,
      "clearance_m": 30.0,
      "step_m": 5.0,
      "max_alt": 200.0,
      "start_alt": 30.0
    },
    "point_clouds": {
      "las": [
        "09LD2904.las",
        "09LD2914.las",
        "09LD2905.las",
        "09LD2924.las",
        "09LD2923.las",
        "09LD2922.las",
        "09LD2913.las",
        "09LD2912.las",
        "09LD2911.las",
        "09LD2921.las",
        "09LD2903.las",
        "09LD1994.las"
      ]
    }
  }
}
```

### 点群の描画に関する設定

点群データはファイルサイズが大きすぎるため、描画のための軽量化を行う  
ここでは、どのような条件で軽量化を行うか設定することができる

### 対象のルートデータ

所定のフォルダに保存されたルートデータを指定する  
ルートデータの作成方法については17~19ページを参照

### 点群への接近判定条件

参考実装では、視認性を考慮し、ルートのうち点群に接近しすぎた箇所をオレンジや赤で着色して描画している  
判定基準や判定の細かさ等をここで設定することができる

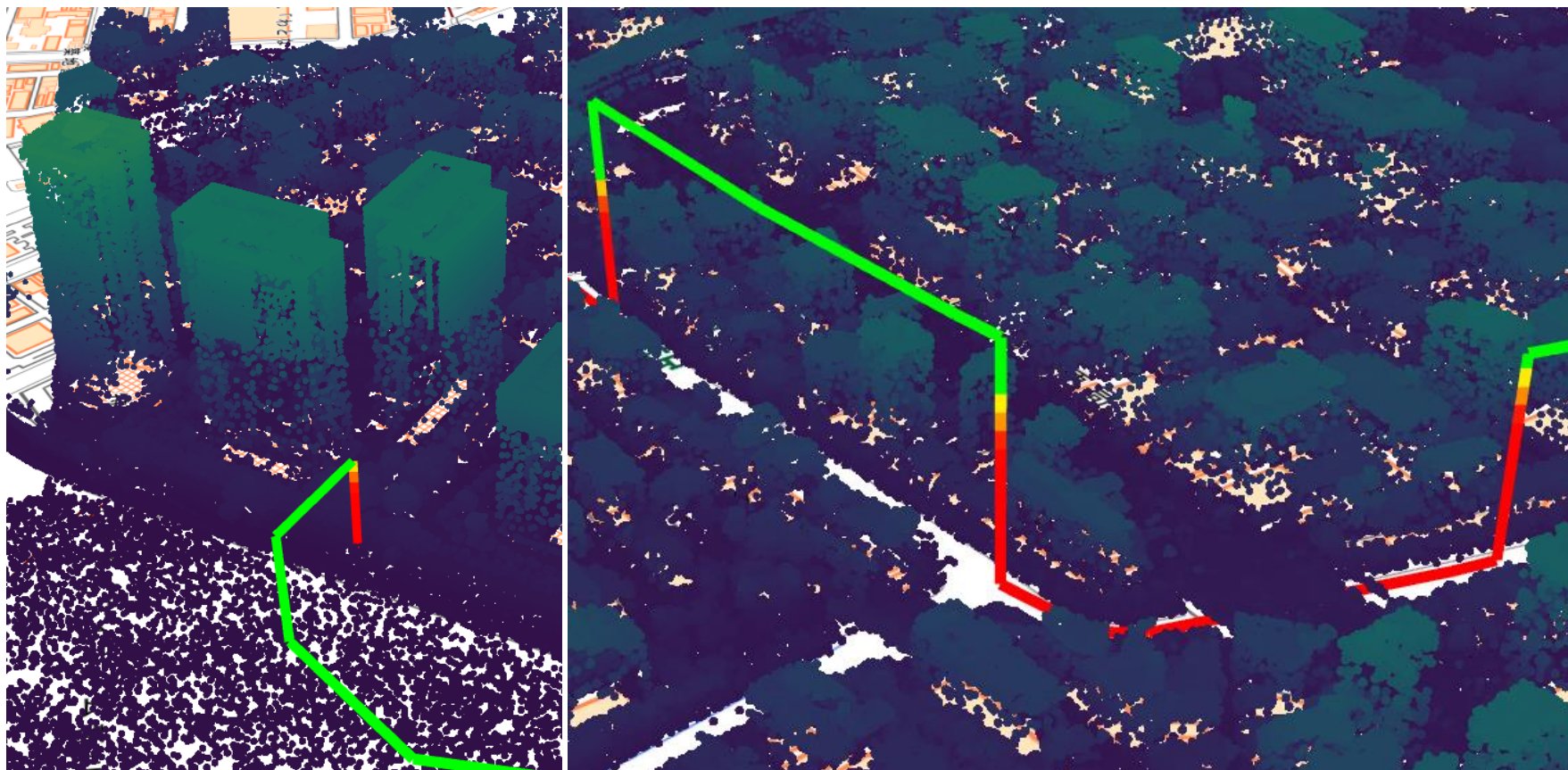
### 点群データ一覧

所定のフォルダに保存された点群ファイルの一覧を設定することができる  
地表面の点群データ取得方法について16ページを参照

ルート設定結果は、htmlとして出力され、ブラウザ等で閲覧可能である

## 出力結果 (html)

イメージ



ブラウザ操作方法

角度変更



右クリックをしながらマウスを動かし角度変更可能

ズーム・パン

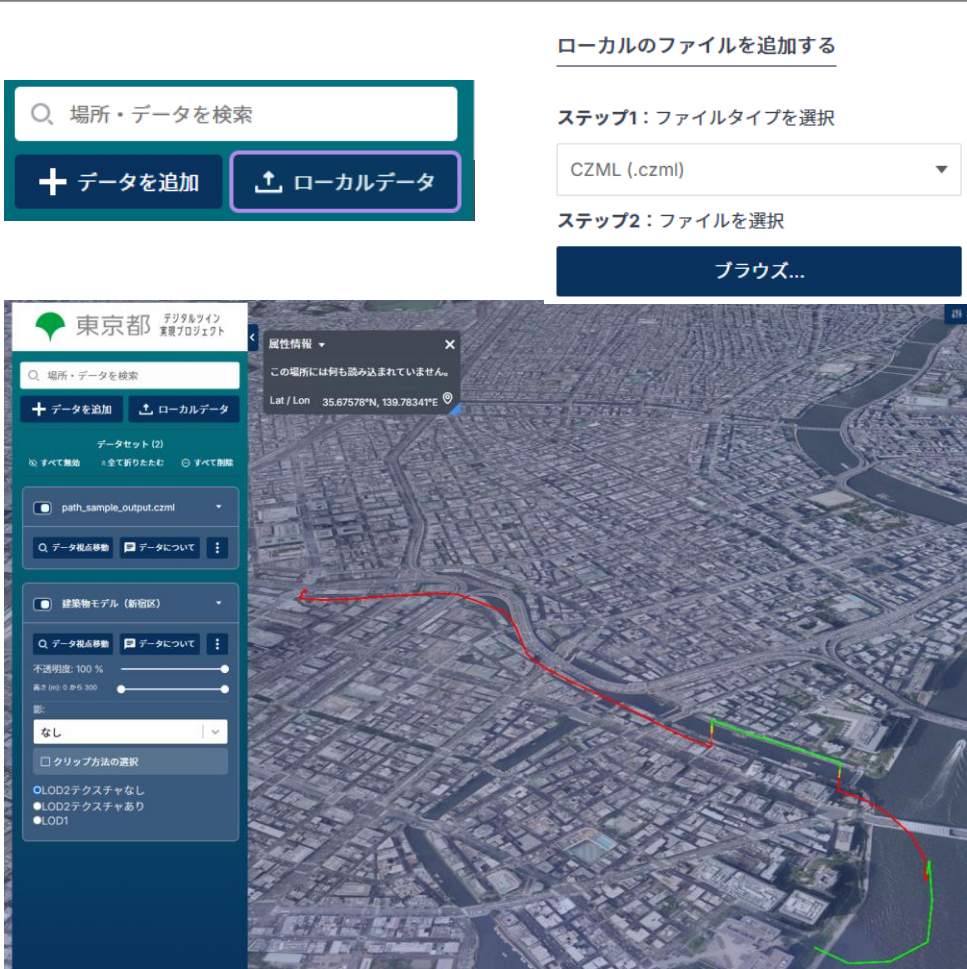


マウスホイールを回転させてズーム・パン可能

# 設定した飛行ルートを東京都デジタルツイン3Dビューアにて参照することも可能

## 出力結果（東京都デジタルツイン3Dビューア）

手順		イメージ
準備	①	コード実行時に「 <code>path_sample_output.geojson</code> 」がエクスポートされる
	②	同梱の「 <code>geohsontoczml.ipynb</code> 」を実行し、「 <code>path_sample_output.geojson</code> 」を「 <code>path_sample_output.czml</code> 」に変換する ※詳細な手順は使用するエディタに準拠する
実行	①	東京都デジタルツイン3Dビューアに「 <code>path_sample_output.czml</code> 」をインポートする
	②	マップ上に飛行ルートが表示され、詳細の確認が可能になる



The image shows two parts of the Tokyo Digital Twin 3D Viewer interface. The top part is a file upload dialog with a search bar, a '+ データを追加' button, and a 'ローカルデータ' button. It shows 'ステップ1: ファイルタイプを選択' with 'CZML (.czml)' selected, and 'ステップ2: ファイルを選択' with a 'ブラウズ...' button. The bottom part is a 3D map of Tokyo with a red flight path overlaid. A sidebar on the left shows the loaded data set 'path\_sample\_output.czml' and building models for the Shinjuku district. A '属性情報' popup is visible over the map, showing coordinates: Lat / Lon 35.67578°N, 139.78341°E.

# 留意事項

# 点群データ活用・飛行エリア選定のいずれも現時点では参考実装としての制約があり、高精度データ導入やリアルタイム化等により高度化を図る余地がある

## 制約事項と精緻化へのヒント

点群データ	
制約	参考実装は、詳細な建造物確認やリアルタイム状態把握までをカバーするものではない
ヒント	大量点群の高精細表示には、より高度な描画基盤やポリゴン化技術の導入が有効である
ヒント	風影響評価についても、高精度気象データの導入により精緻化余地がある

飛行エリア選定	
制約	現行の導入ポテンシャルは参考実装用の暫定値であり、実運用判断にそのまま用いることはできない
制約	現行ではpythonプログラムを実行し生成された静的なhtmlファイルを開いて表示する必要がある
ヒント	今後は、評価指標の追加、重み付けの調整、乗算モデル等への変更が考えられる
ヒント	実行毎に最新のデータをするためには、リアルタイムAPIを提供しているサービスと連携し、Dashというフレームワークを利用してWebアプリケーションに拡張する