

これまでの技術的な検討内容

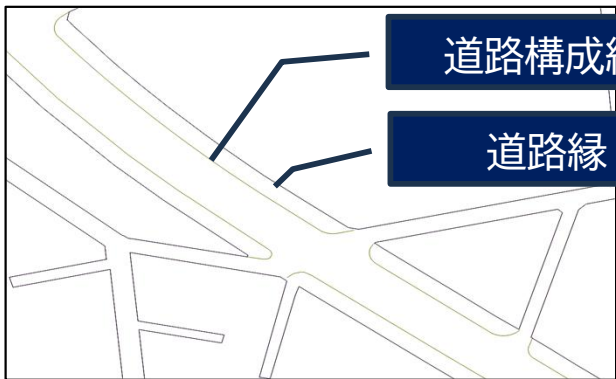
令和7年7月
政策統括官付



既存データを活用した歩行空間ネットワークデータ整備 (形状データ生成、バリア情報の抽出方法の検討)

- 2

基盤地図情報(国土地理院)の道路構成線と道路縁の間を歩道領域とし、領域内の中央付近に、歩行空間ネットワークデータの骨格となる形状データを生成する手法を検討。



入力データ(基盤地図情報)の例



生成した形状データの例

基盤地図情報は日本全国で整備されており、**広域で利用可能で、形状データの生成率は8割前後と高い**。データの座標精度は1/2500(1~2mのズレ)。横断歩道に関する情報は整備されていない。2次元の整備であることから立体交差点部が取得不可であること、ロータリーや公園等の広い歩道は取得できない。その為、対象箇所は手動編集が必要となる。

基盤地図情報からの形状データ生成例:作成ルール

幅員5.5m未満は道路中心に生成	幅員5.5m以上は両側端部に生成	片側に歩道がある場合対面側端部にも生成	交差点部を十字接続	歩道との接続はT字接続	歩道橋との接続

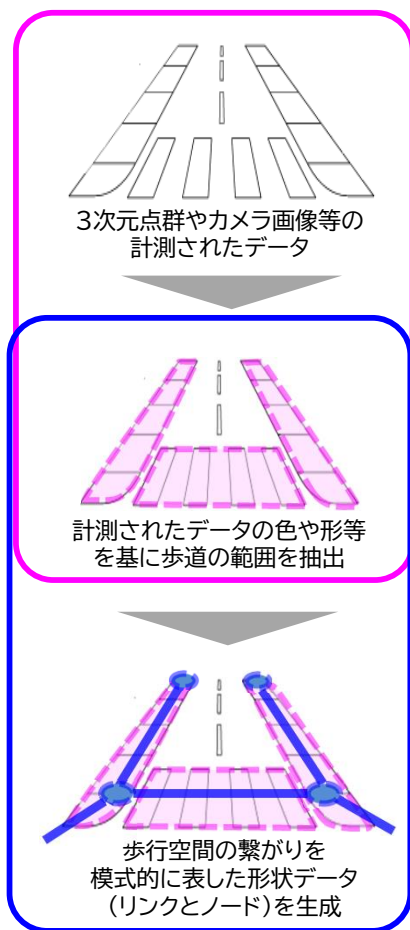
自動取得が困難なケース

複雑な形状の交差点接続箇所が判断できない	公園・広場等の面中心が明確でない	住宅地への進入路で遠回りの経路となる	駐車場やロータリー等	幅員5.5m以上の道路で横断歩道が抽出されない	歩道領域として不適切な箇所

形状データの生成手法の検討結果

3次元点群データや航空写真の機械学習、地図情報の面図形データから抽出する方法等を検討したが、国土地理院の基盤地図情報から、形状データを生成する手法が最も効果的であることを確認。

今回検討した手法の一覧



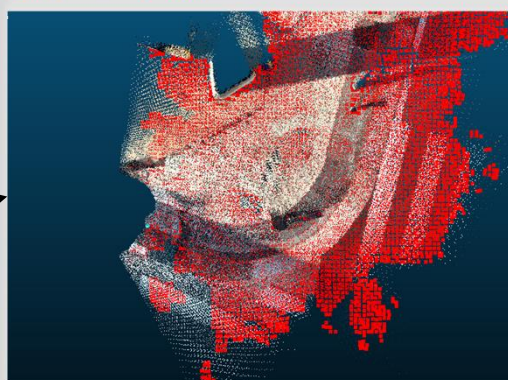
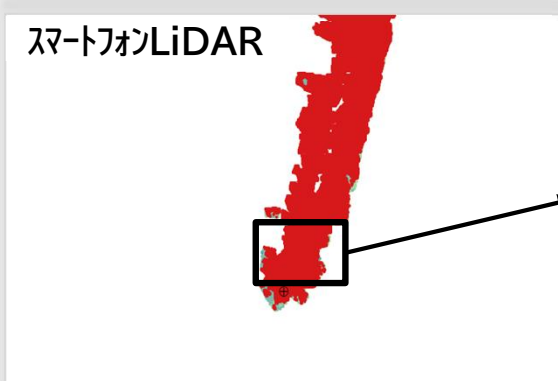
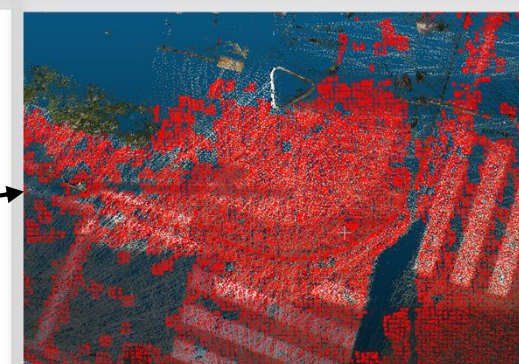
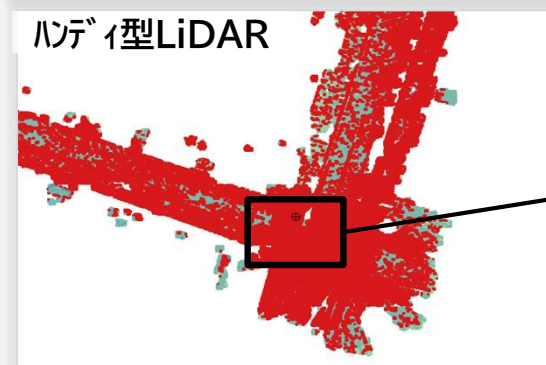
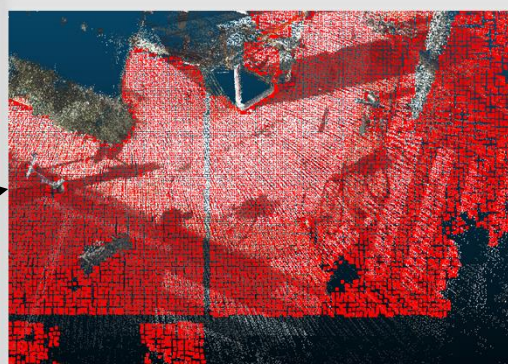
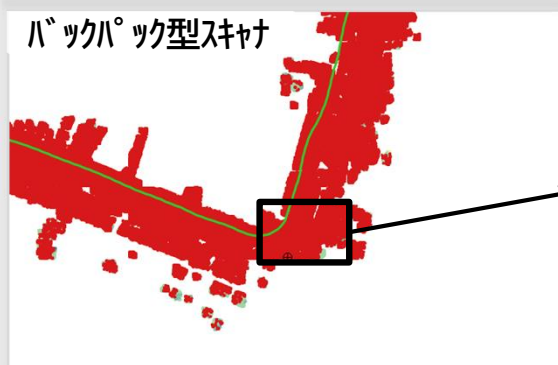
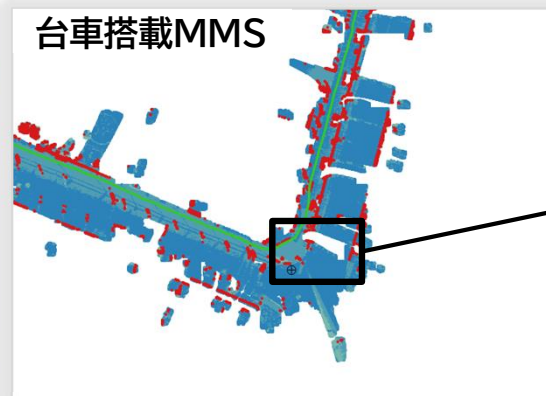
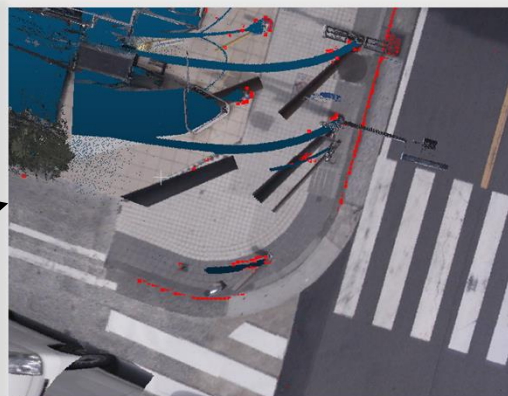
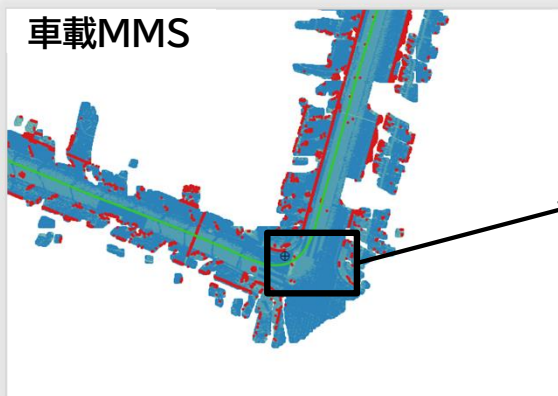
歩道の範囲を求める

歩道の中心を線と点で実線化

利用データ	手法	概要	友好性
MMS等3次元点群データ	機械学習系	【点群領域分割】 機械学習を用いて、 <u>点群データから歩道や車道の特徴を識別</u> し、歩道領域として抽出。	△
航空写真		【画像領域分割】 機械学習を用いて、 <u>画像から歩道や車道等を識別</u> し、歩道領域の抽出。	△
		【画像物体検出】 機械学習を用いて、 <u>画像から横断歩道を識別</u> し、歩道有無の抽出。	○ 手動作業含む
MMS等3次元点群データ MMS等計測データ軌跡	点群解析系	【点群(形状)解析系】 点群の形から、車道との境界(段差)や、 <u>構造物で囲まれた範囲</u> を歩道領域として抽出。	△
		【点群(色)解析系】 点群の <u>色を使用して</u> 、 <u>横断歩道の形や領域</u> から、歩道領域を抽出。	○
		【点群(形状・色)解析系】 点群の色と形状を使用して、 <u>区画線の色と道路側端部の形</u> から、歩道領域を抽出。	△
地図情報データ (基盤地図情報等)	面図形からの生成	地図情報データ等から歩道・歩道橋等を構成する <u>図形種別により歩道領域を抽出</u> し、形状データを生成。	◎
プローブデータ	線図形からの生成	人や車両が移動した位置情報を集めた <u>プローブ情報から、形状データを生成・更新</u> 。(技術検討課題)	△

凡例(◎:80%以上抽出、○:50~80%抽出可、△:50%以下 人による抽出)

3次元点群からのバリア情報の抽出例(段差2cm以上)



■ 平面部 (道路及び歩道面)

■ 検出結果 (隣接する点群の高さの差が2cm以上の箇所)

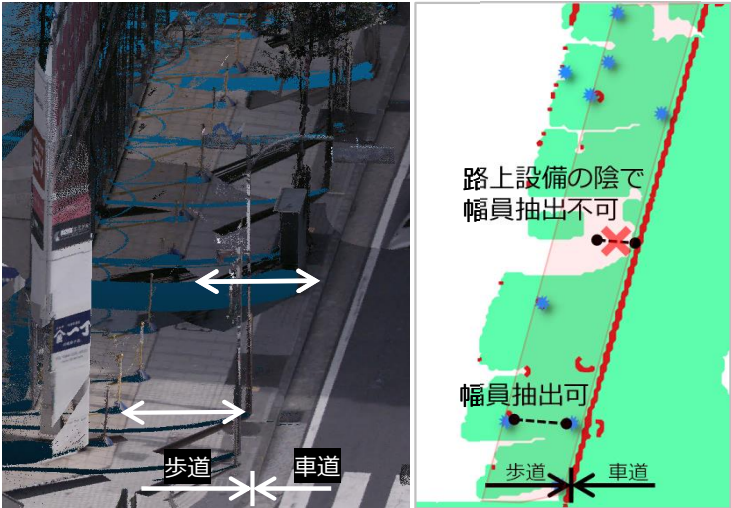
・車載や台車搭載MMSは点群高さのバラつきが小さく、適切に2cmの高さの差を抽出

・バックパック、ハンディ、スマートフォンは点群高さのバラつきが大きく、2cm高さの差として誤って抽出される

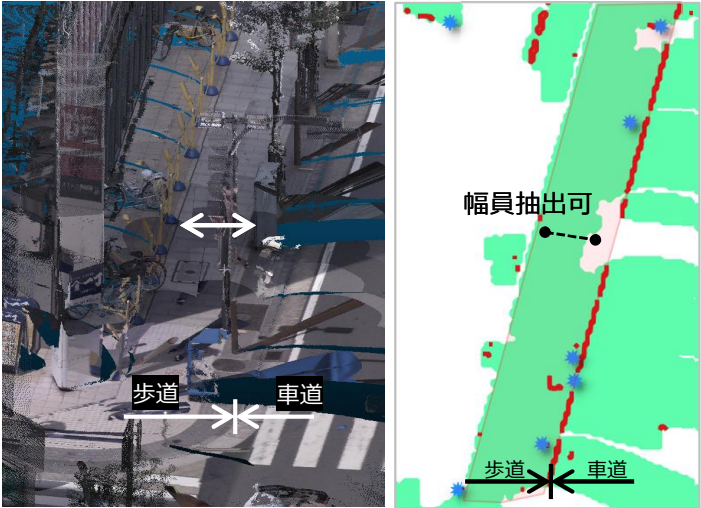
3次元点群からのバリア情報の抽出例(幅員)



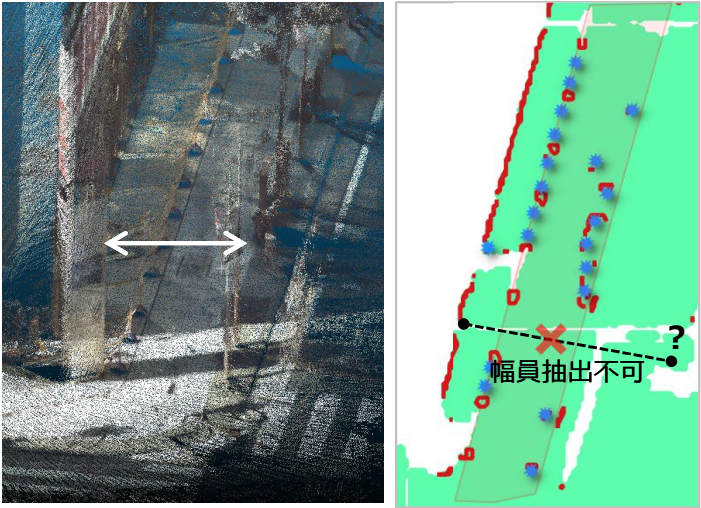
車載MMS



台車搭載MMS



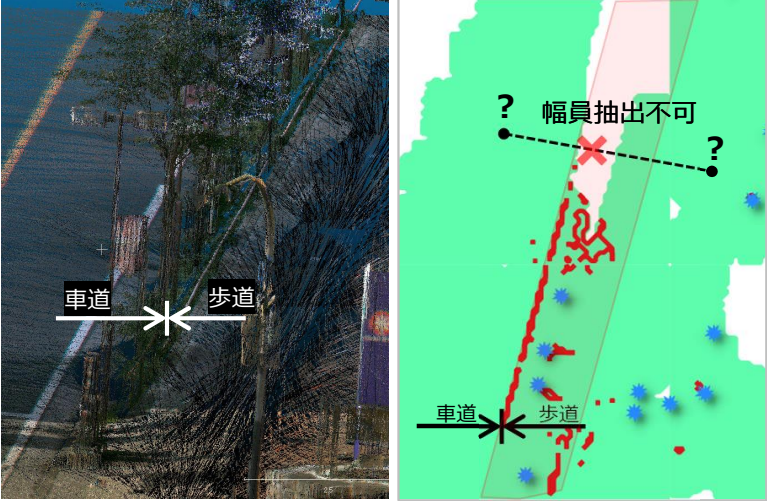
バックパツク型スキャ



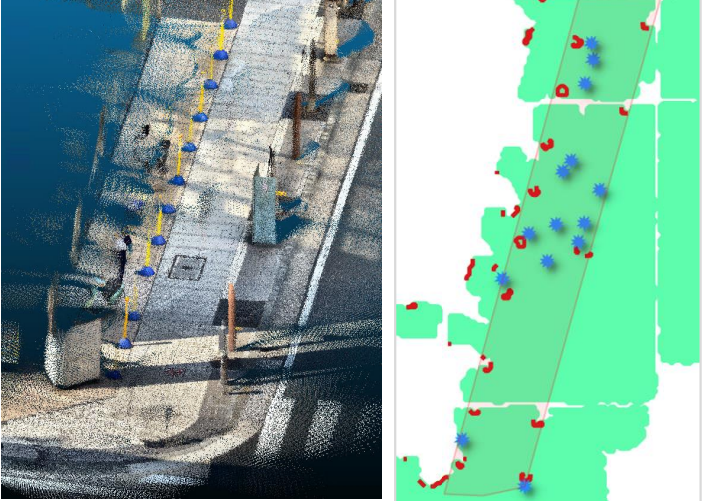
高さのバラつきが小さく歩車道の境界線(境界となる段差)(■)を抽出可能

歩道と車道の境界が取得できない為、抽出不可

ハンディ型LiDAR



スマートフォンLiDAR



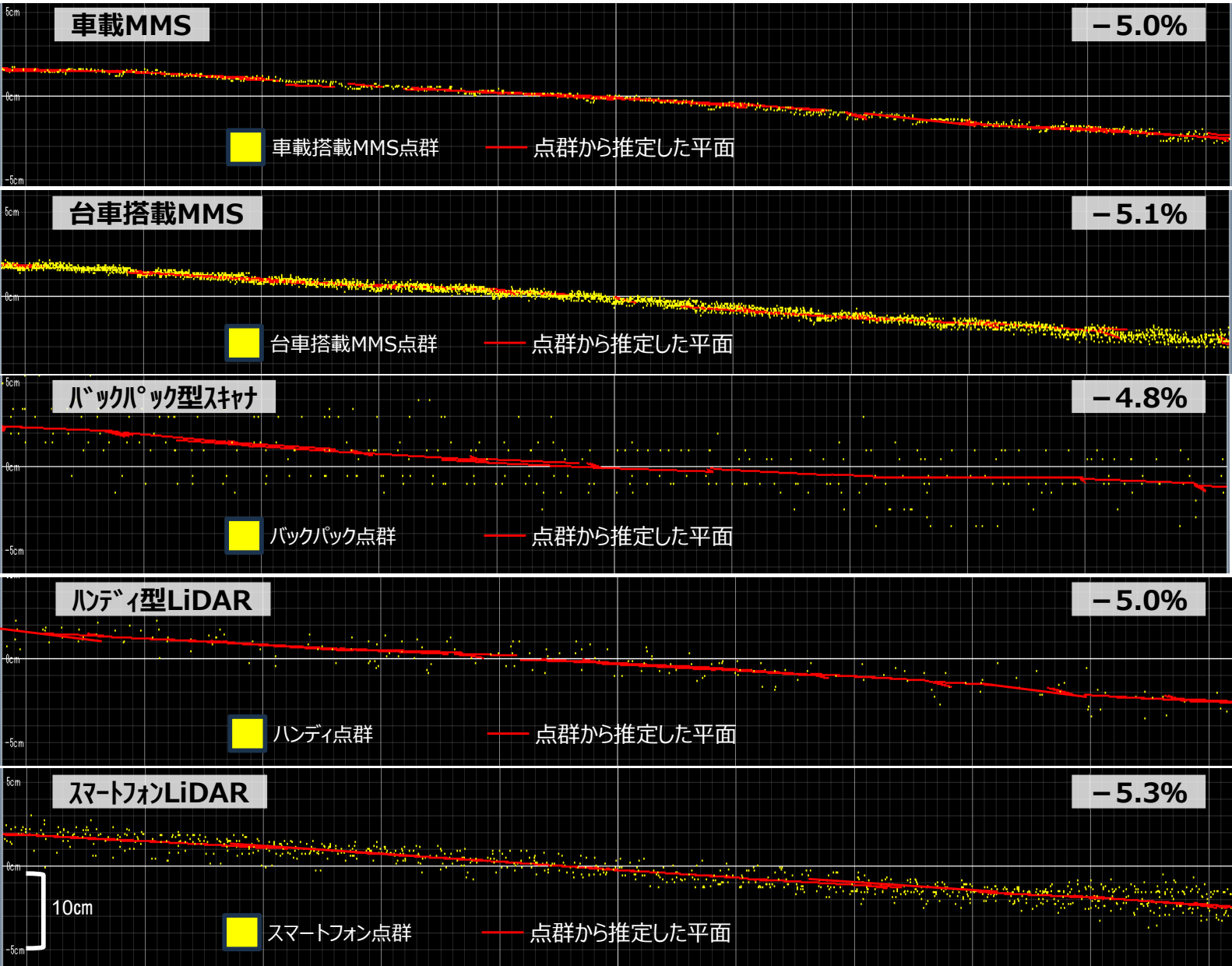
歩道と車道の境界が取得できない部分があり、抽出困難

歩道と車道の境界が取得できない為、抽出不可

- 点群から道路面 (■)、障害物(★) を抽出
- 幅員は歩車道の境界線や壁面、障害物などから算出

凡例 ■ 道路面(車道+歩道) ★ 障害物 ■ 段差 ■ 歩道領域

3次元点群からのバリア情報の抽出例(縦断勾配)



■車載MMS
高い精度で勾配値が算出できる。
台車搭載MMSと比較し、計測位置から歩道迄の距離が遠く、点の密度が薄い傾向有。

■台車搭載MMS
高い精度で勾配値が算出できる。

■バックパック型スキャナ
TLSの点群から取得した勾配に近い値を取得。
局所的に1cm程度の浮き沈みがあり、計測箇所により1%程度の誤差が含まれる

■ハンディ型LiDAR
TLSの点群から取得した勾配に近い値を取得。
局所的に1cm程度の浮き沈みがあり、計測箇所により1%程度の誤差が含まれる

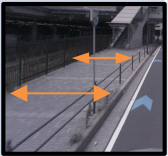
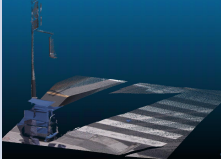
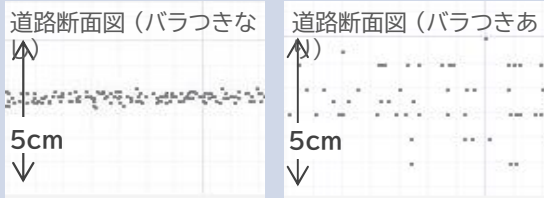
■スマートフォンLiDAR
TLSの点群から取得した勾配に近い値を取得。
局所的に1cm程度の浮き沈みがあり、計測箇所により1%程度の誤差が含まれる

・当該箇所でTLS点群を用いて算出した勾配値は-5.0%(正解値)
・点群から最小二乗法を用いて平面を推定し、その平面から勾配を求める

バリア情報を抽出するための3次元点群の要件(案)



点群を取得する際の計測の要件と、点群からバリア情報を抽出する際の点群要件の2つに分けて整理。

バリア種別	計測要件	点群要件
幅員 	点群データに欠損が無いこと  道路上の地物や車両によるデータ欠損	- 半径5cmの範囲内に2cm以上の高さのバラつきがないこと - 点群密度 1,000点/m²以上を有すること - 歩行者や自転車等の障害物がないこと
縦断勾配 横断勾配 	点群の高さにバラつきがないこと  道路断面図 (バラつきなし) 道路断面図 (バラつきあり)	- 半径1mの範囲内に5cm以上の高さのバラつきがないこと - 点群密度 1,000点/m²以上を有すること
段差 	車道と歩道を分離するための構造的な特徴(*1)が抽出できること	- 半径5cmの範囲内に2cm以上の高さのバラつきがないこと - 点群密度 1,000点/m²以上を有すること
視覚障害者誘導用ブロック 	色や反射強度により、視覚障害者誘導用ブロックが識別できること	- 色合い 橙色～黄色の範囲 - 明るさ 道路と比べて明るい状態 ※ 色調は日陰、日向の影響を受ける
屋根 	路面と屋根が同じ計測データに存在していること	路面から2m以上上部に点群があり、路面と屋根部分が同時に計測できている
横断歩道 	レーザーに対する光の反射の強さを示した反射強度により、横断歩道を構成する白線が識別できること	- 道路面(舗装)と横断歩道ペイントの反射強度が、2倍以上あること ※ 反射強度は日陰、日向の影響を受けない

高さ(Z値)については、標高に統一されていることを前提とする(楕円体高の場合は別途変換が必要となる)

*1 構造的な特徴 … 車道部と歩道部を分離するための段差、ブロック、ガードレール、植栽等



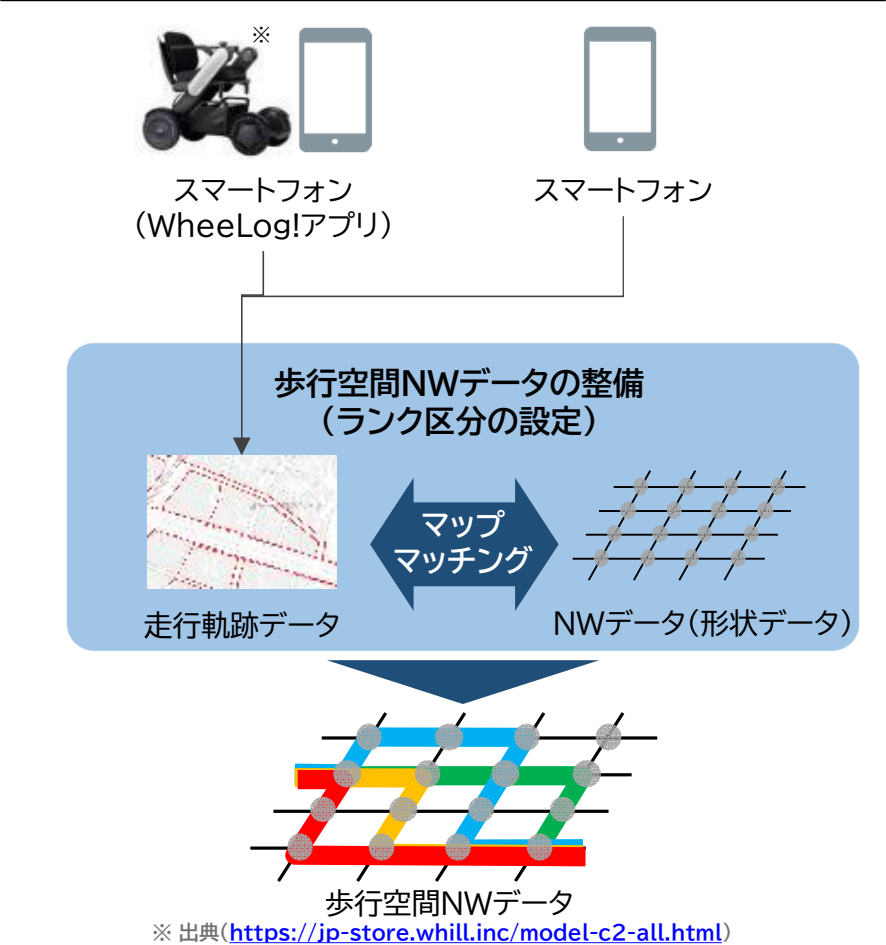
走行軌跡データ等を用いた 歩行空間ネットワークデータ整備 (マップマッチング方法の検討)

スマートフォンで収集した走行軌跡データ等と、歩行空間ネットワークデータ(形状データ)とのマップマッチングによるデータ整備実証を実施。

実施事項

①走行軌跡データ等の特性確認	WheelLog!アプリと、現地歩行により収集された軌跡データの特性(精度、形式等)の確認
②マップマッチング実施方法の確認	収集データの特性を踏まえたデータ処理方法の確認 ・フィルタリング方法(歩道の範囲から外れているデータへの対応方法、等)の確認
③マップマッチングの実施	形状データに対するマップマッチングの実施 ・②で検討した手法によるマップマッチングの実施可否の確認 ・マップマッチング精度の確認(現地歩行により取得した軌跡データを用いたマップマッチングの結果と、歩行経路の比較)

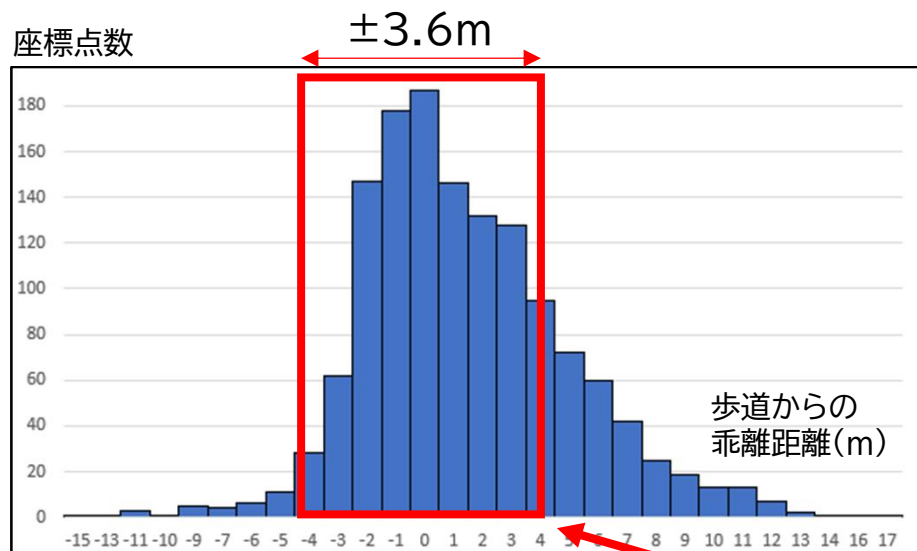
実施イメージ



マップマッチングにおけるフィルタリング方法の検討

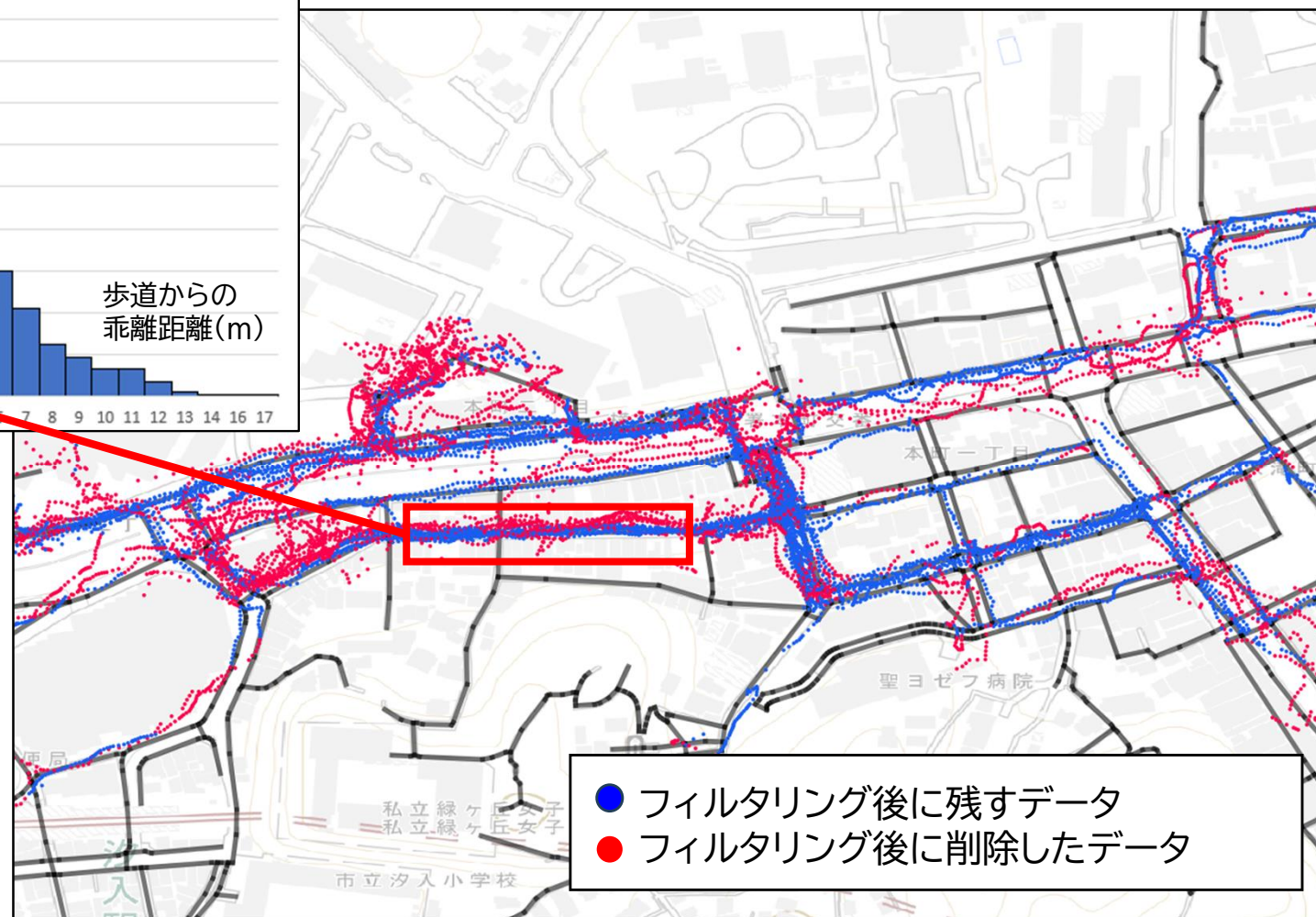


走行軌跡データ等と形状データの一致度合いを確認し、フィルタリングの閾値を検討。最も走行回数の多い下記箇所において、すべての走行軌跡データ等の歩道からの誤差(標準偏差)が3.6mのため、この数値を閾値として使用。



*標準偏差3.6mを超えない区間が50m(1街区相当)継続した場合のみ信用できる走行軌跡と判断しフィルタリングを実施。

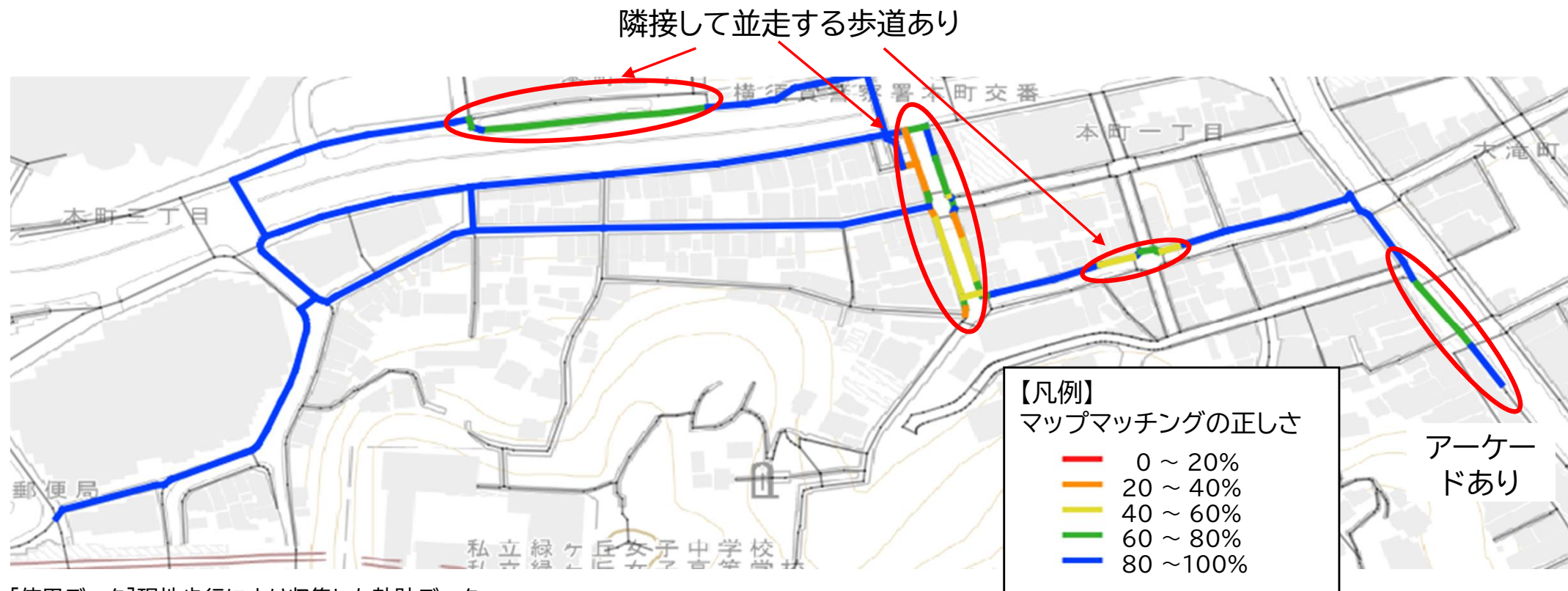
*複数回マップマッチングを試行した結果、閾値として50mを採用。



[使用データ]WheeLog!の走行軌跡データ、現地歩行収集データ

移動経路を把握している現地歩行により収集した軌跡データについて、マップマッチング結果の評価を実施。

- 隣接して並走する歩道が存在する場合に誤りが発生。
- 82.3%の割合で、正しくマップマッチングができていることを確認。



[使用データ]現地歩行により収集した軌跡データ

*実際に歩いた箇所に対して、正しくマッチング出来た確率を集計して色分けで表示。



走行軌跡データ等を用いた歩行空間NWデータ整備を実現するためには、統計的な手法を用いて通行した歩道を判断する手法等の検討を行い、マップマッチングの精度を向上させる必要がある。

確認結果

実運用に向けた課題

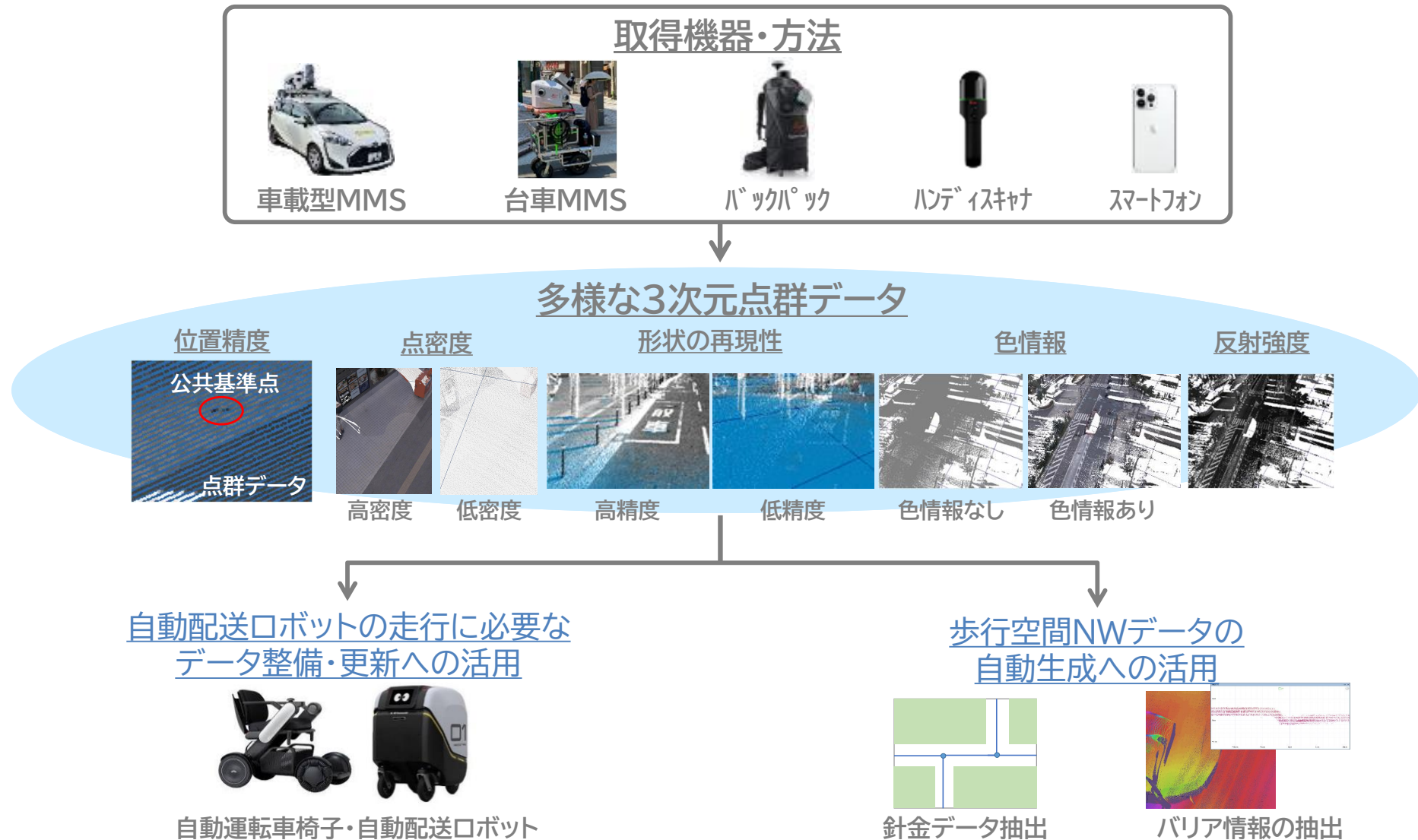
①走行軌跡データ等の特性確認	•WheeLog!:異なる機種により収集したデータが混在し、精度にバラつきあり。 •現地歩行:数メートルの座標誤差があり、上空視界に応じて精度が変化。	•収集する機種ごとにデータ仕様が異なるため、データ受け渡しのルール等の検討が必要。
②マップマッチング実施方法の確認	•フィルタリングにより、利用できないデータ(低精度・欠落)を除去することで、マップマッチングが妥当に実施できることを確認。	•マップマッチングの精度向上等のため、収集・分析対象とするデータを増やすことが必要。
③マップマッチング実施	•約8割で正しくマップマッチングできていることを確認。 •隣接して歩道が並走する場所では、並走するもう1つの歩道を示す形状データにマップマッチングするケースあり。	•精度向上のために、統計的な手法を取り入れた検証が必要。 •精度向上のため、座標の取得時刻や方位角、衛星測位数等を含んだデータを用いることも選択肢として検討が必要。

上記に加え、多種多様なモビリティで歩行空間NWデータの整備が実現できるよう、様々な自動走行ロボット等の軌跡データを用いた技術検証も検討が必要。



歩行空間の3次元地図の整備 (統合処理・フィルタリング方法の検討)

- 3次元点群データは、取得機器・方法とデータそのものの品質によって多様なデータが存在。
- 自動配送ロボットの走行に必要なデータ整備・更新への活用や歩行空間NWデータ(バリア情報と形状データの抽出とそれらの統合)の自動生成への活用について検討。



3次元点群データの取得



2023年7月にJR川崎駅周辺で多様なセンサーで3次元点群データを取得。

3次元点群データ取得に使用したセンサー

車載MMS



台車搭載MMS



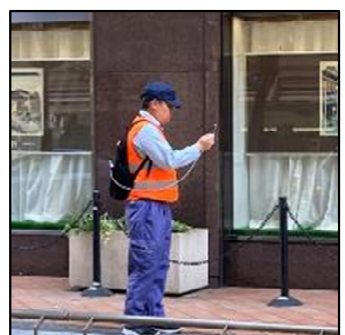
バックパック型スキャナ



ハンディ型LiDAR



スマートフォンLiDAR



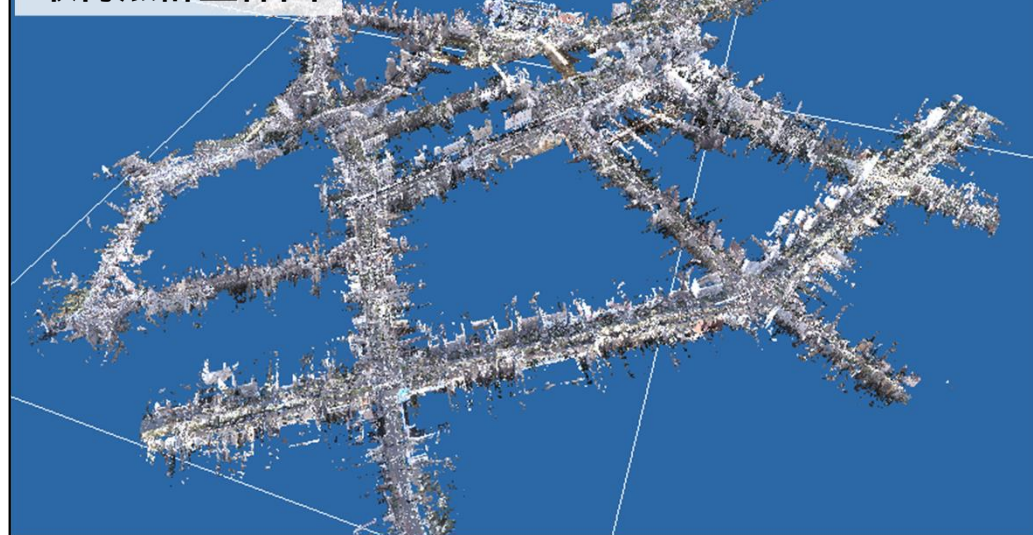
車載センシング装置(MMS)



色の凡例

- 車道
- 歩道[1F]
- 歩道[2F]
- 階段・スロープ
- アーケード

取得点群全体図



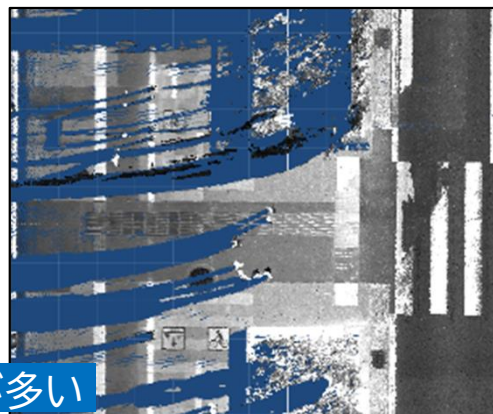
取得した3次元点群データの特徴



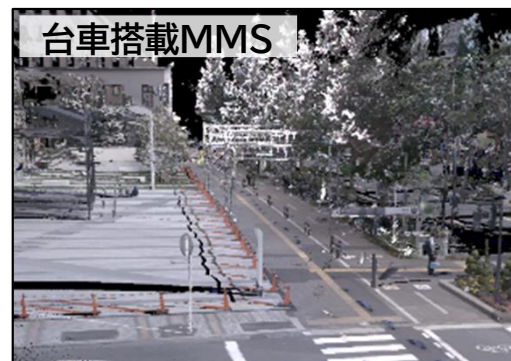
各センサーデータはセンサー性能、取得位置の特性から異なる特徴を持つ。



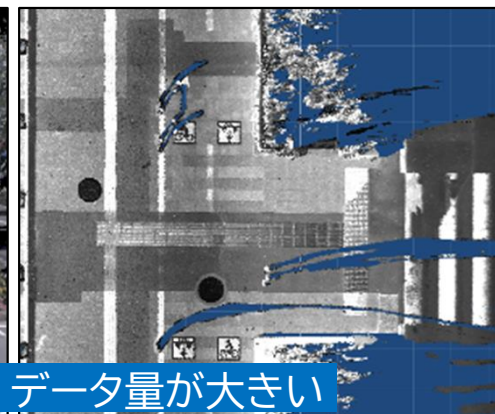
車載MMS



車道は高精細、歩道は欠損が多い



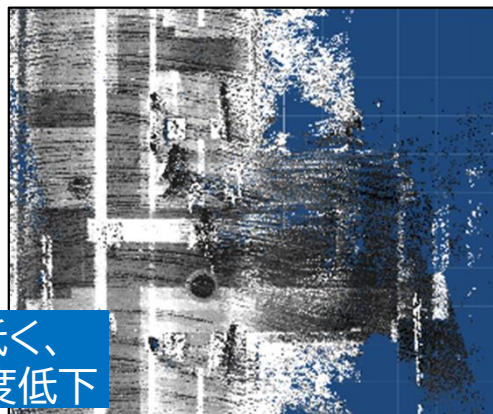
台車搭載MMS



歩道を最も精緻に再現する、データ量が多い



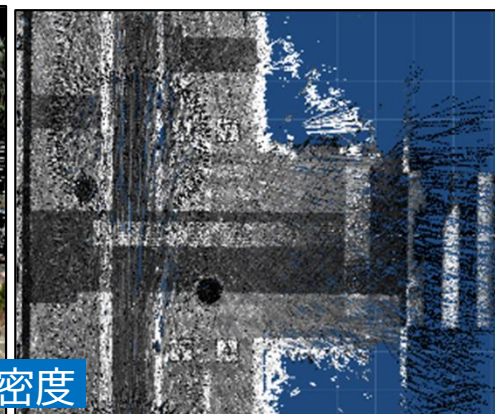
バックパック型スキャナ



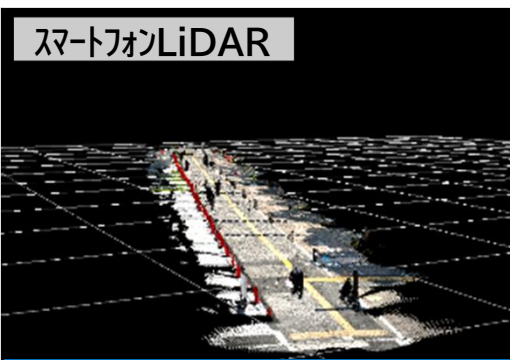
MMSに比べ点群密度が低く、計測位置から遠くなると密度低下



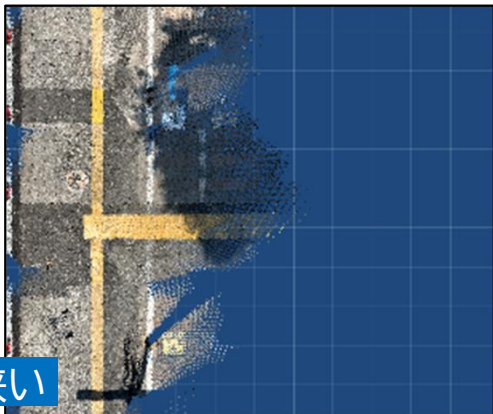
ハンディ型LiDAR



バックパックよりも点群が低密度



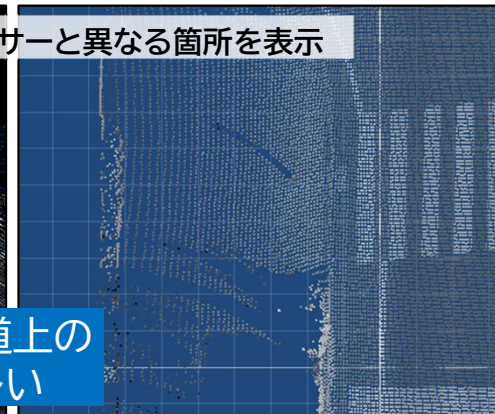
スマートフォンLiDAR



点群は高密度、取得範囲が狭い

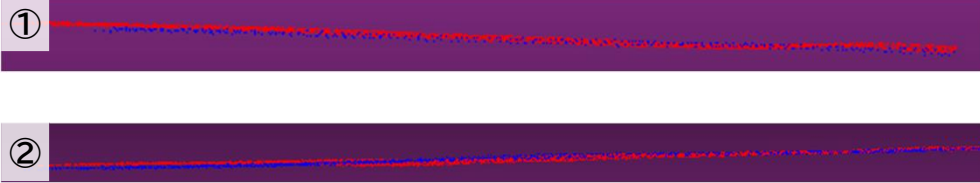
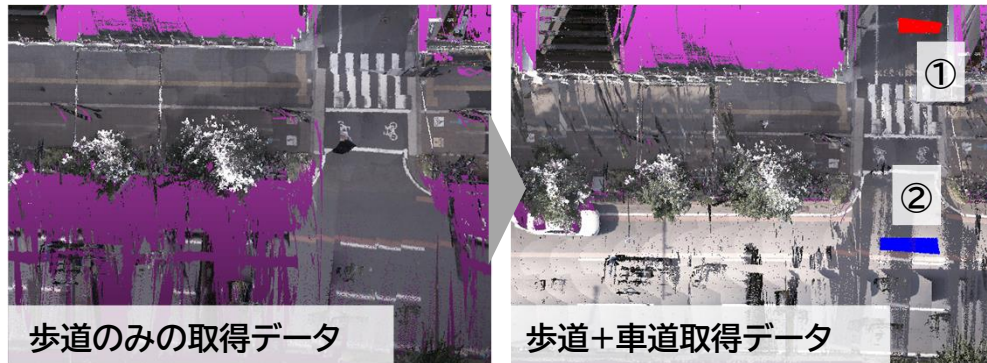


国道15号 整備データ ※他センサーと異なる箇所を表示



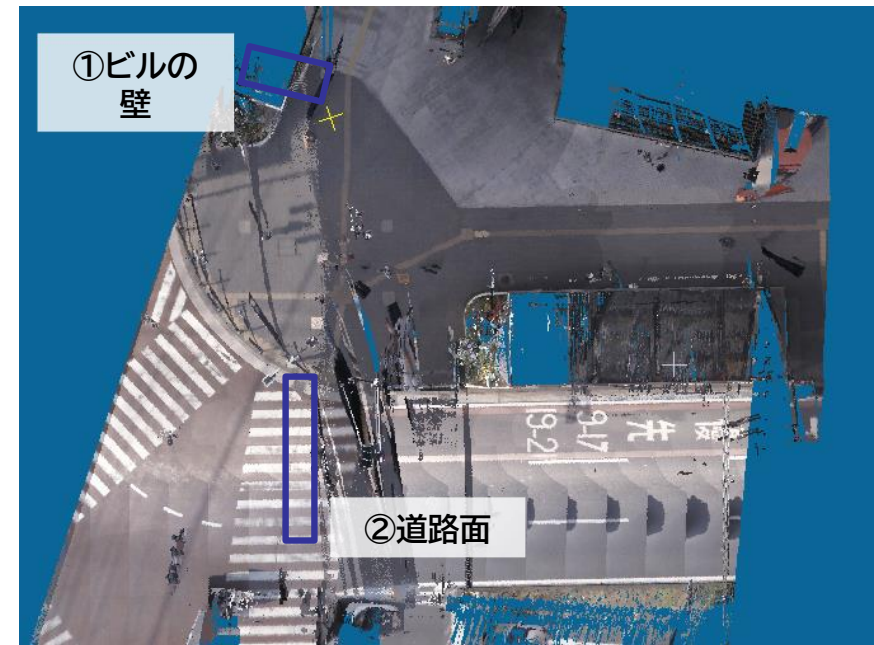
搭載センサーの特性上、歩道上の点群は低密度で欠損が多い

ICPアルゴリズムを利用した 3次元点群データの位置合わせ(剛体位置補正)

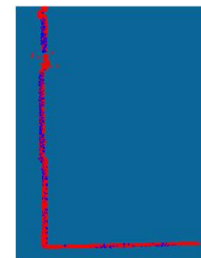


- 点群の自動統合では最も一般的な手法であり、無償のソフトウェアにも組み込まれている。計算に時間を要する。
- 複数の点群同士の対応点が小さくなる反復計算が基本であるが、外れ値(片方の点群にのみ存在する点)やフィルタリング対象があると統合精度が低下する。
- 複数点群内の共通部分を指定し、点群を統合するなどの処理を行うことで速度改善や欠損点群にも対応できる可能性がある。

統合処理サンプル 歩道+車道取得データ(台車搭載MMS+車載MMS)



①ビルの壁
(横断面図)



②道路面
(横断面図)

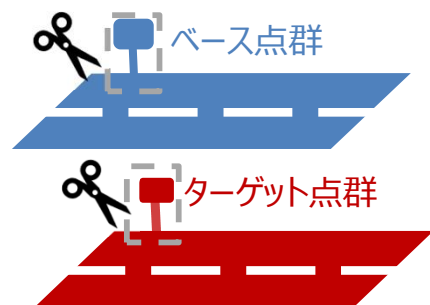


赤:車載MMSで取得した点群
青:台車搭載MMSで取得した点群

処理:ICPアルゴリズムを利用した3次元点群データの位置合わせ(剛体位置補正)

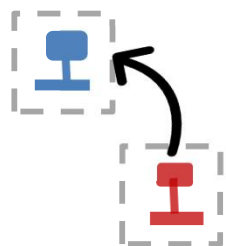
ベース点群(基準)及びターゲット点群(移動)で共通して取得できている個所を位置合わせに利用するサンプル箇所の点群として抽出。サンプル箇所の点群間の移動量を計算した上で統合処理を実施。

①サンプル箇所の点群を抽出



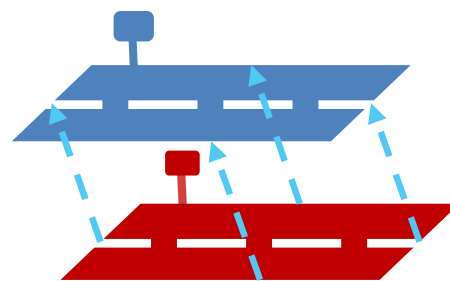
2つの点群で共通の地物を切出す
(準備作業)

②移動量を計算



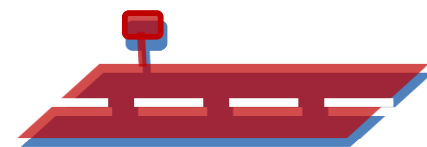
サンプル箇所の点群より移動量を計算

③ターゲット点群を移動



計算した移動量を元にターゲット点群の位置を補正

④統合処理の完了



サンプル箇所を抽出し移動量計算を行うことで、欠損部分(オクルージョン)やノイズの影響を低減する。
ICPアルゴリズムでの計算処理がサンプル箇所の点群のみとなるため、処理時間が短縮する。

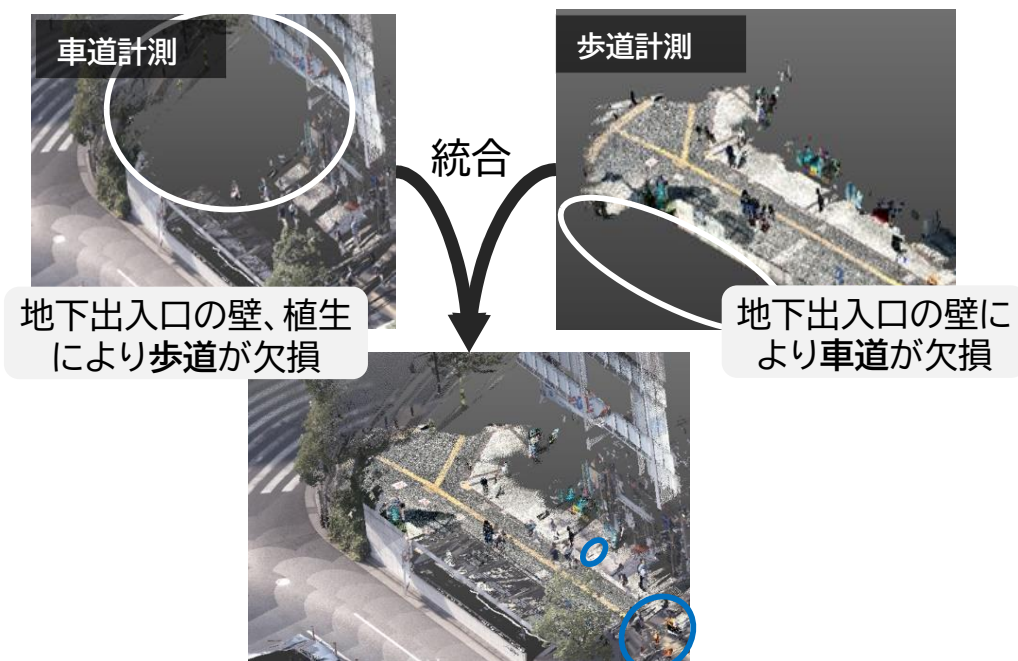
統合するベース点群とターゲット点群共に相対的な歪みが生じていない(累積誤差が小さい、ねじれがないなど)点群データ同士であれば数cm程度の誤差で滑らかに統合が可能であることを確認。

点群統合処理を行うための条件

- ベース点群、ターゲット点群で特徴的な共通の地物が取得できていること
- ベース点群とターゲット点群共に相対精度の良い点群データであること

点群統合が困難な例

共通の地物取得ができない



共通地物がわずかな道路面のみ
特長のあるサンプル箇所の点群を
取得できないため、統合処理が困難

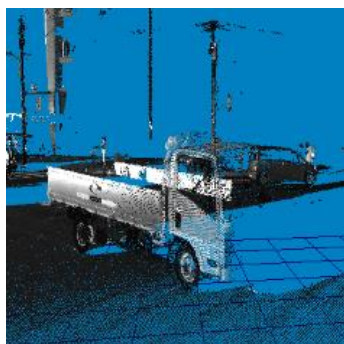
相対精度が落ちやすい点群データ



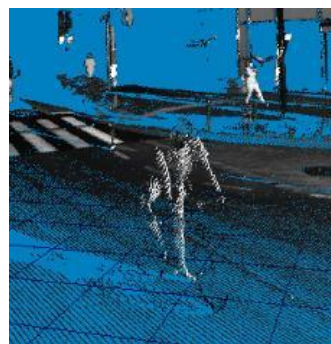
累積誤差が大きなデータやGNSS不可視区間の計測データは相対的な歪みが大きくなりやすい

【フィルタリング対象】

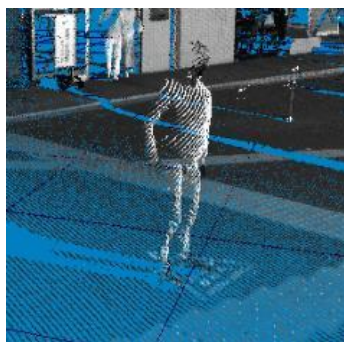
自動車(対向車両、並走車両、路上駐車)、自転車、通行人等の動的物体を対象。



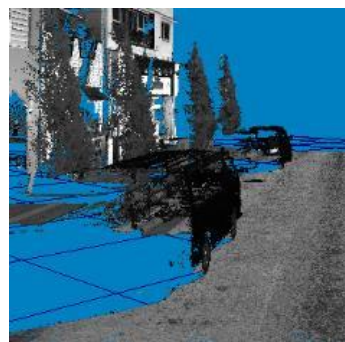
対向車両



自転車



歩行者



路上駐車

3次元点群データとして取得される車や人の動的物体のデータ(フィルタリング対象)は、複数の点群を統合する際のミスマッチングの原因、バリア誤検出及びロボット誤動作の要因となる可能性。

フィルタリングは手作業で実施することが多いが、効率化を図るために、路上面にある点群をフィルタリング対象として削除する方法を検討。

【特定ルールによるフィルタリング処理】

路面(道路面や歩道面)を指定し、点群をクラスタリングした後に、点群から物体を認識させ、パラメータの指定により、除去対象を特定させる。



ツールに組み込んだパラメータ設定
 ・クラスタリングで結合する点群距離:0.27m
 ・OBBの面積閾値:35㎡
 ・OBBの高さ上限:3.0m
 ・OBBの高さ下限:1.0m

【物体認識手法】

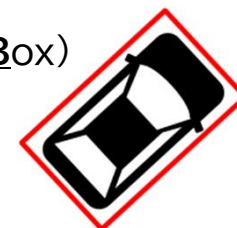
物体認識により、フィルタリング対象の正確なサイズを把握し、パラメータを利用して判定と削除を実施

<採用する物体認識手法>

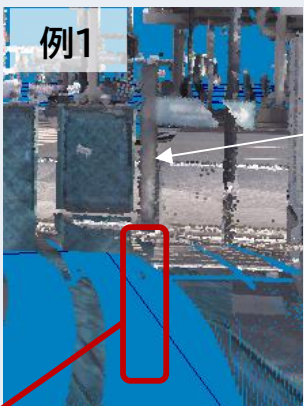
OBB※(Oriented Bounding Box)

物体の最小範囲で囲む為、
正確に対象物のサイズを把握

※オープンソースのライブラリを利用



歩行者、車両で8割程度の自動フィルタリングが可能だが、除去漏れや過剰除去となる場合も存在。厳密なフィルタリングが必要な場合は人による確認が必要。

過剰除去になりやすいパターン	除去漏れになりやすいパターン
① 車両、人など同程度の高さの地物（低木、ポール、ポストなど） ② データ欠損の影響により地物の高さや路面付近では地物全体が正しく取得できていない場合（例1）	① 車載MMSにおいて通行車両が計測車両と並走すると車両の点群サイズが大きくなるもの（例2） ② フィルタリング対象物の上部が欠損することで高さが低くなり、下限残留対象物となるもの ③ 壁に沿って止められている自転車
例1   案内版の足元が取得できていないため、高さの閾値でツールが対象外とできず、除去対象となってしまう 現実には、ポールが存在するが下部が欠損	例2  計測車と並走する車両は間延びして3次元点群が取得され、大きな点群となる。フィルタリング対象だが、面積閾値を超えるため、フィルタリング対象と判断できない

自動フィルタリングの除去率向上のための対策

フィルタリングパラメータは人と車に対して調整したものであるが、歩行空間においては車両が存在しない点群データも存在するため、フィルタリング対象が人のみに適したパラメータの調整を行うことにより、除去率を向上できる可能性がある。

その他留意事項：道路が傾斜している点群データは、除去率が低下したため、傾斜している個所では、点群の範囲を分割したのちに、フィルタリング処理を実施することもある必要がある。



自動配送ロボット等の走行が可能となる 3次元地図の要件の検証

2023年7月に取得した3次元点群データを手作業及び自動処理で加工(統合、フィルタリング)し、整備した多様な3次元点群データにて、「経路設定(プランニング)への活用」、「ベースマップへの活用(自己位置推定)」の検証を実施。

検証機体



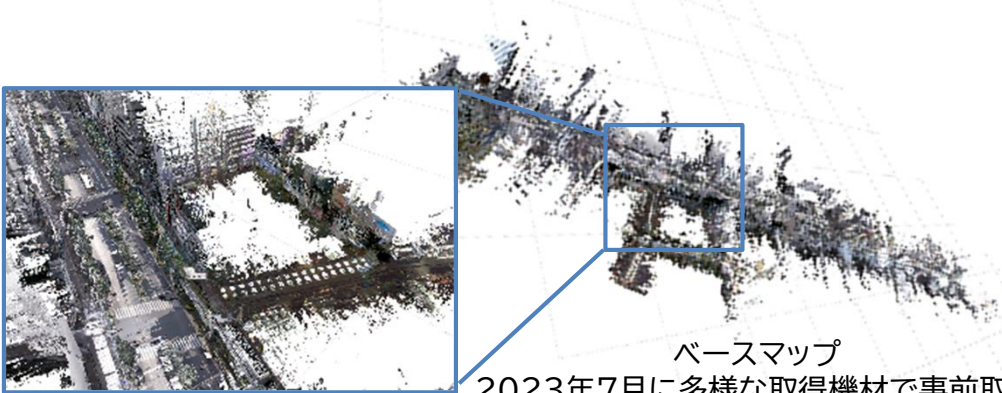
*画像はイメージ

機器分類	電動車椅子
方法	オペレータ搭乗による運転 (緊急時はオペレータが停止)
走行距離	最大2km
自己位置推定方法	ベースマップ + SLAM
SLAM種類	LiDAR SLAM
LiDAR型番	Livox Mid-360
LiDAR計測距離	40m
その他搭載センサー	IMU
備考	走行時にリアルタイムで自己位置推定の情報をPC画面上に表示

走行実証経路



他2経路



2023年7月に多様な取得機材で事前取得



走行実証の結果及び歩行空間の3次元地図ワーキンググループ構成員のロボット事業者へのヒアリングを踏まえ、3次元点群データに求められる要件を整理。

検証観点	経路設定に必要な要件	自己位置推定処理に必要な要件
点群密度	・ 中密度(400点/m²程度)以上が適している ・ 低密度の点群で識別しづらい車歩道の境界等の情報は、現地確認などの対応が別途必要	・ 低密度(100点/m²程度)が適している ・ 密度の高い3次元点群データを扱うには、高スペックPCが必要
ベースマップの整備範囲	・ 中範囲以上が必要 ・ GNSSを搭載するロボットは衛星電波の遮蔽状況を確認するため天井、屋根が取れていると良い	・ 中範囲以上が適している ・ 自己位置推定を行うには一定以上の高さの立体形状が必要(一部の欠損は許容するが、広範囲の欠損は処理が破綻する可能性がある)
3次元点群データの統合精度	・ 複数点群の統合の結果、壁と点字ブロック等の相対位置が間違っている場合は適さない	・ 低精度でも自己位置推定処理は可能 ・ 相対精度に大きな矛盾がないこと ・ 2～3cm程度の統合誤差で滑らかに点群間がつながると良い
取得センサー	・ スマートフォンのデータは取得範囲が狭く、壁面の低いところの点群しかないため、他のセンサーとの統合によって補完することが必要	・ スマートフォンのデータは取得範囲が狭く、壁面の低いところの点群しかないため、他のセンサーとの統合によって補完することが必要
センサーの取得間隔が自己位置推定に及ぼす影響	・ 短い間隔で誤差が生じやすいスマートフォンのデータは扱いに注意が必要	・ 整備した範囲においては自己位置推定処理は実施可能