

視覚障害者の移動特性 を考慮した位置推定手法

山本晃平¹, 村田 将之², 佐藤 大介²

1: 立命館大学大学院情報理工学研究科 (Ritsumeikan University)

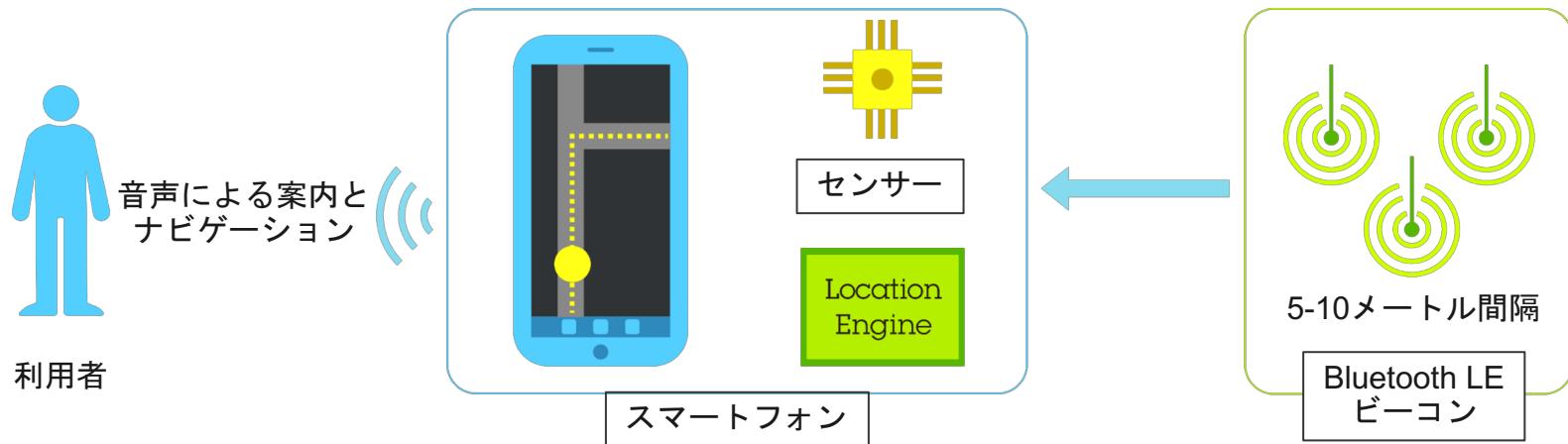
2: 日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所 (IBM Research – Tokyo)

背景

- 現在、全世界に全盲の人は約3600万人と推定*
- 2050年には高齢化も影響し3倍になると推定*
- 視覚障害者の自立や支援技術の重要性が高まる
- 屋内において、感覚代行による情報提供を可能にするナビゲーションシステムが必要不可欠

* Bourne, Rupert R A Bourne, Rupert et al. 2017. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis, The Lancet Global Health, Vol. 5, No. 9, pp. e888–e897

屋内ナビゲーションシステム



- 位置情報に基づく音声によるナビゲーション
- スマートフォン上で実装
- 正確な位置情報が不可欠
 - 白杖で周囲を確認可能な誤差1m以下の精度

屋内測位



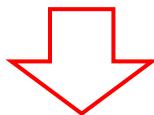
- スマートフォンのセンサーを用いた測位手法
 - Wi-Fi, **Bluetooth LE (BLE)**, 地磁気
 - 位置と信号強度のマップを作成し、測定した信号強度から位置を推定
 - PDR (Pedestrian Dead Reckoning, 歩行者自律航法)
 - 加速度や角速度、磁気等から歩数と移動方向を計算し歩行量を推定
 - カメラ画像
 - 連続する画像間の対応づけによる相対移動量推定(Visual Odometry)等
- 複数の測位手法を組み合わせたハイブリッド測位
 - 測位精度向上
 - 本研究も**BLE-PDR**ハイブリッド測位に立脚

過去のナビゲーション実験からの知見

- BLE+PDR測位によるショッピング施設ナビ実験

- 実験被験者は多くの場合においてナビゲーションタスクを完了
 - 視覚障害者の歩行に特徴的な動作・事象が多く見られた
(杖を振る動作、障害物への衝突など)

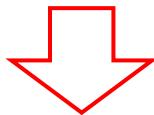
- PDRは加速度や角速度センサー等から利用者の歩行量を推定
 - 加速度等に影響を与える動作・事象



視覚障害者の特徴的な動作が測位精度へ悪影響を与えていているのではないか?

研究目的

視覚障害者の特徴的動作が測位精度へ悪影響を与えていているのではないか?



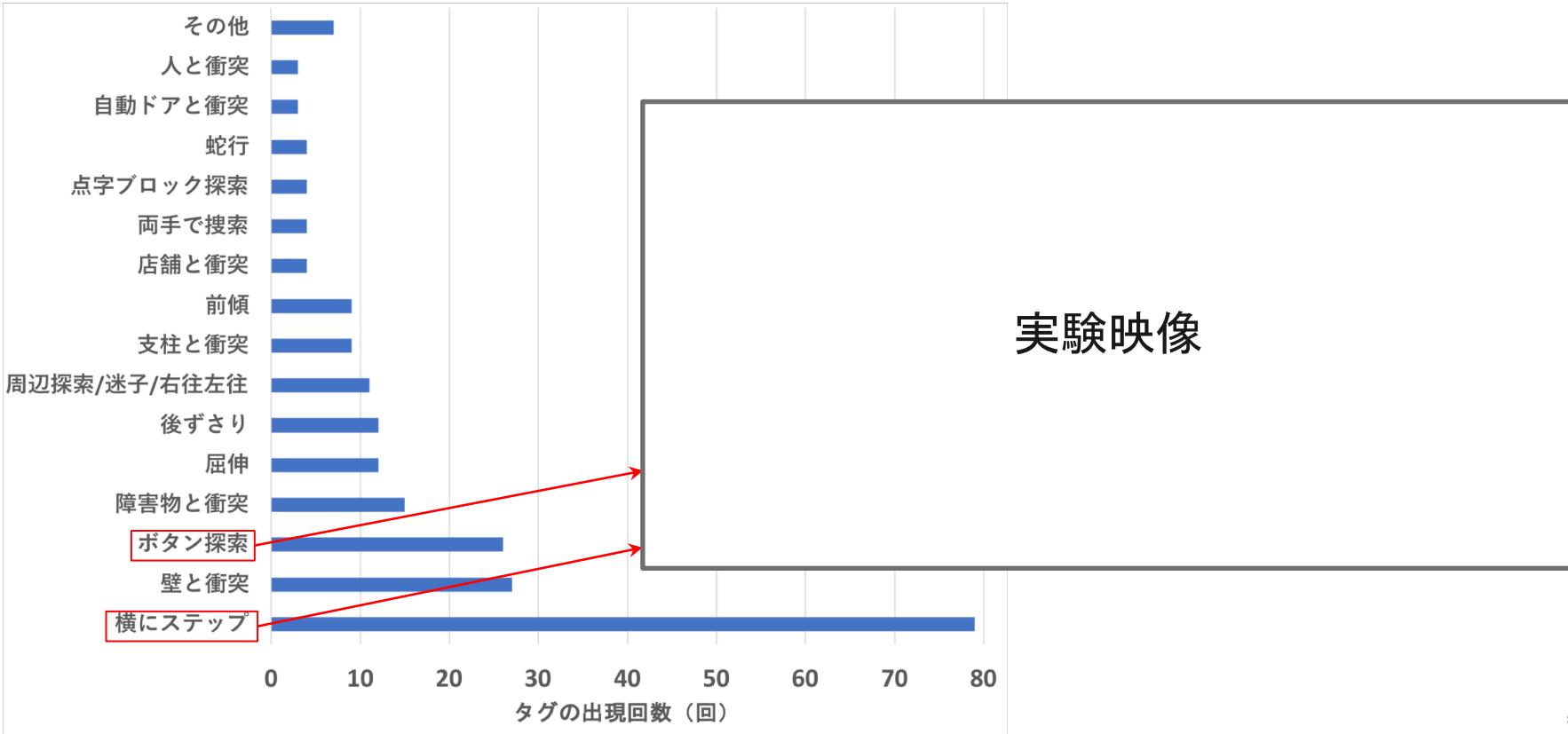
1. 過去のナビゲーション実験映像の分析に基づく移動特性の定義

2. 移動特性にロバストな測位手法の提案と、移動特性を再現した実験データによる評価

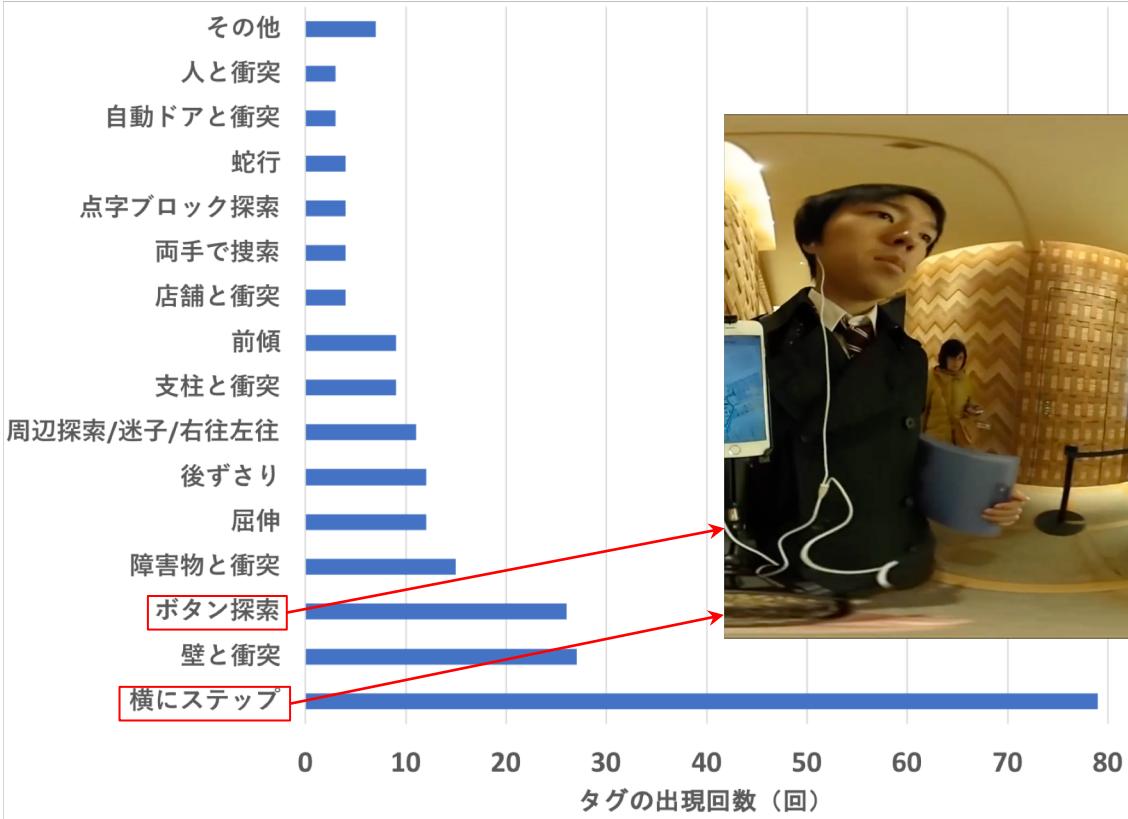
視覚障害者の移動特性

- 過去の視覚障害者ナビゲーション実験を分析し移動特性を定義
- 実験映像
 - 場所：ショッピングモール (21,000m²)
 - 被験者：10人 (全盲6人・ロービジョン4人)
 - 映像時間：2時間58分39秒
- 分析方法
 1. PDRに用いられるセンサに影響を与えるような特有の動作を列挙しタグを付与
 2. 共通のタグを抽出し出現回数が一定より多いタグのみを抽出
 3. 一連の動作に含まれるタグの共起性から移動特性として分類・定義

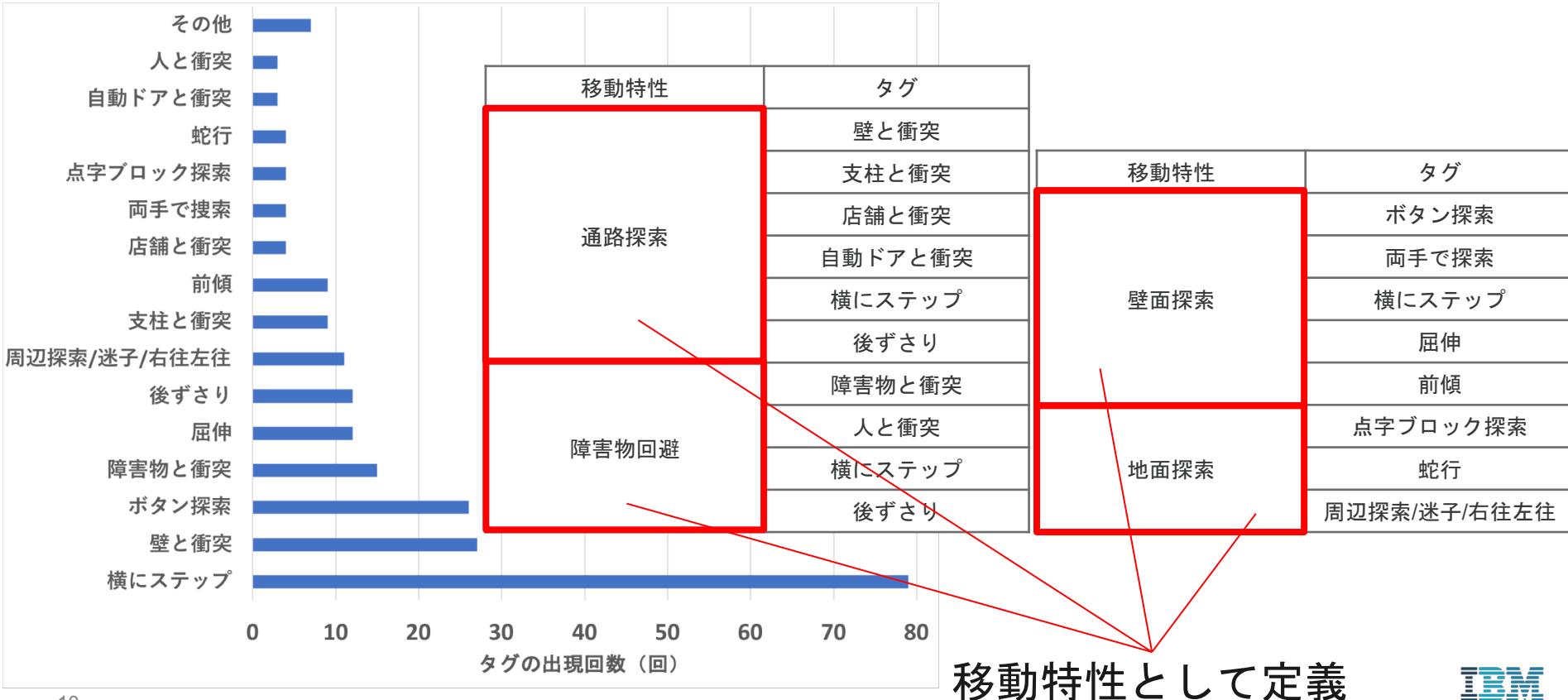
視覚障害者の移動特性(分析結果)



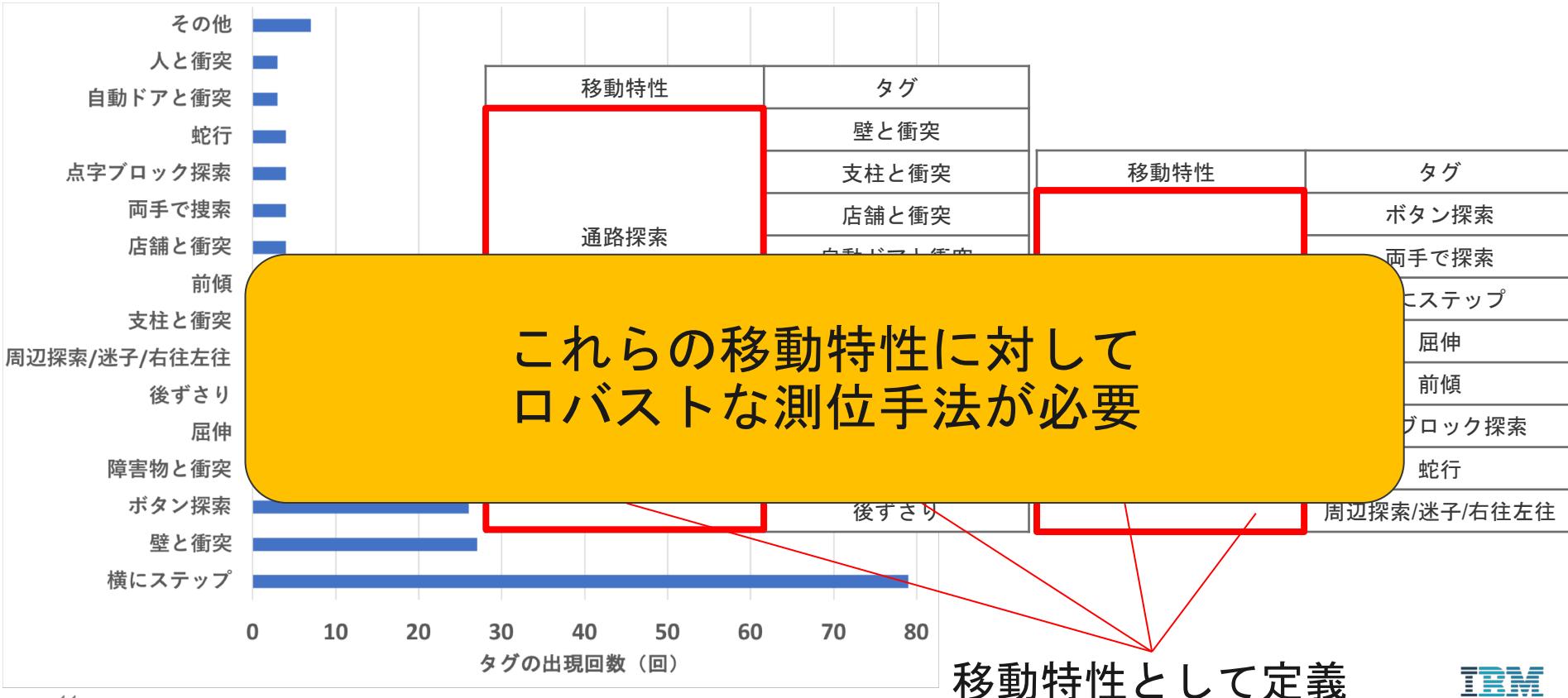
視覚障害者の移動特性(分析結果)



視覚障害者の移動特性(分析結果)



視覚障害者の移動特性(分析結果)

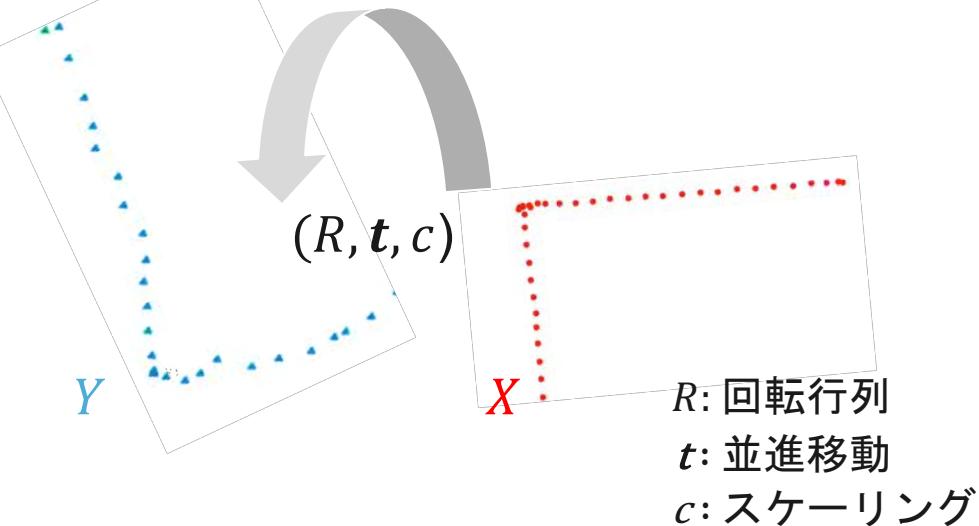


位置推定手法：アプローチ

- BLE-PDR測位
 - 移動特性の影響が大きい
 - 大域的な推定が可能だが局所的な推定精度は高くない
→ 数センチメートル単位の移動量を捕捉可能な手法が必要
- Visual Inertial Odometry (VIO)
- カメラ画像と慣性センサ(加速度, 角速度)を用いた自己位置推定手法
 - 相対的な移動量を記録
 - 局所的な移動量の推定精度は高いが大域的な推定は難しい
- 大域的な推定が可能だが移動特性の影響を受けるBLE-PDRを
局所的な移動推定精度が高いVIOで補完

位置推定手法：実装

- VIOの相対移動軌跡をBLE-PDRの測位軌跡にマッチング



X (VIO)の点列を Y (BLE-PDR)の点列に
対応づけるパラメータ (R, t, c) を推定

1. 時刻 t での過去 T 秒間のVIOの座標履歴
$$X = \{x_i\}_{i=t-T+1}^t$$
2. BLE-PDRの座標履歴
$$Y = \{y_i\}_{i=t-T+1}^t$$
3. 各集合 X, Y の対応する2点 x_i, y_i を相似変換 (R, t, c) で $y_i = cRx_i + t$ と対応付け
4. (R, t, c) を推定するために以下の目的関数最小化*

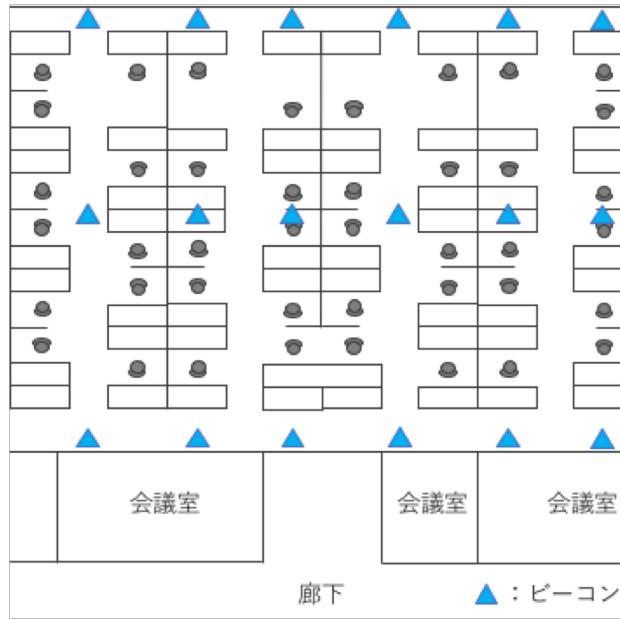
$$(R, t, c) = \underset{(R, t, c)}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=t-T+1}^n \|y_i - cRx_i + t\|^2$$

*S. Umeyama, "Least-squares estimation of transformation parameters between two point patterns," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 13, no. 4, pp. 376-380, 1991

評価

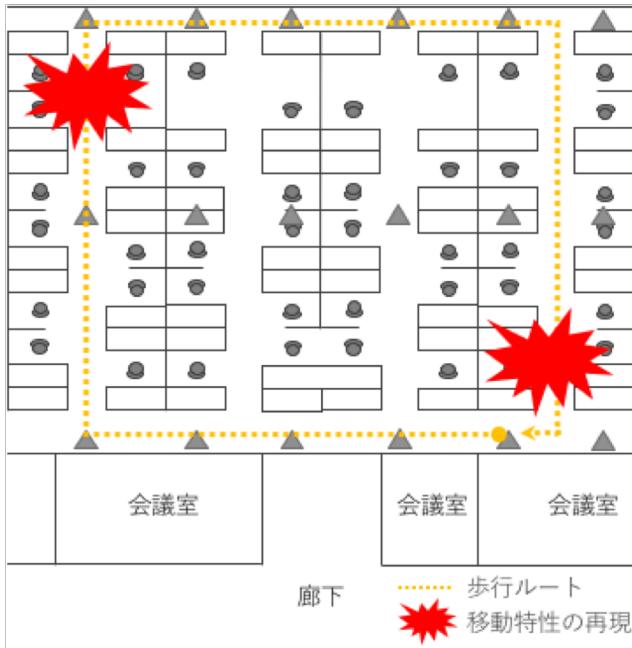
■ 実験環境

- 約250m² (13m × 19m)の屋内オフィス空間
- BLEビーコンは縦6.5mと横3mの間隔で配置



評価

- 実験データセット
 - 移動特性4パターン
 - 設定した歩行ルートを6周 (各周2回 晴眼者が単一の移動特性を再現)

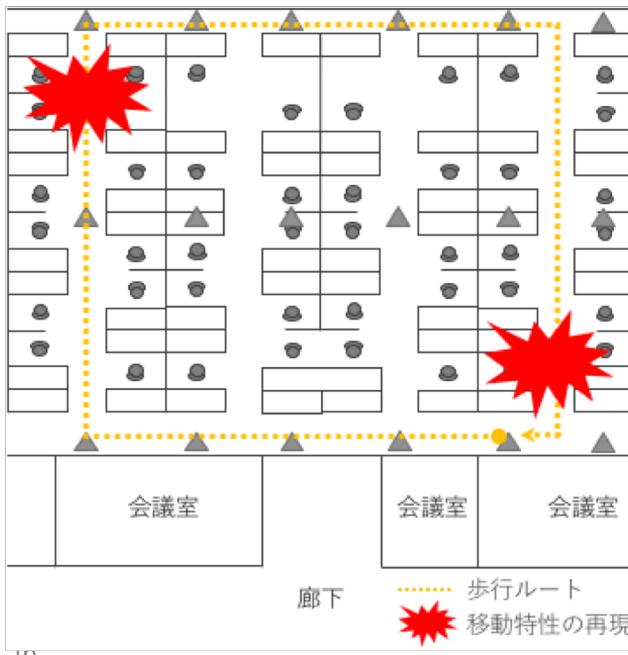


- 実験機材
 - iPhone 8 Plus
 - VLP-16 LIDAR

実験風景

評価

- 実験データセット
 - 移動特性4パターン
 - 設定した歩行ルートを6周 (各周2回 晴眼者が単一の移動特性を再現)



- 実験機材
 - iPhone 8 Plus
 - VLP-16 LIDAR

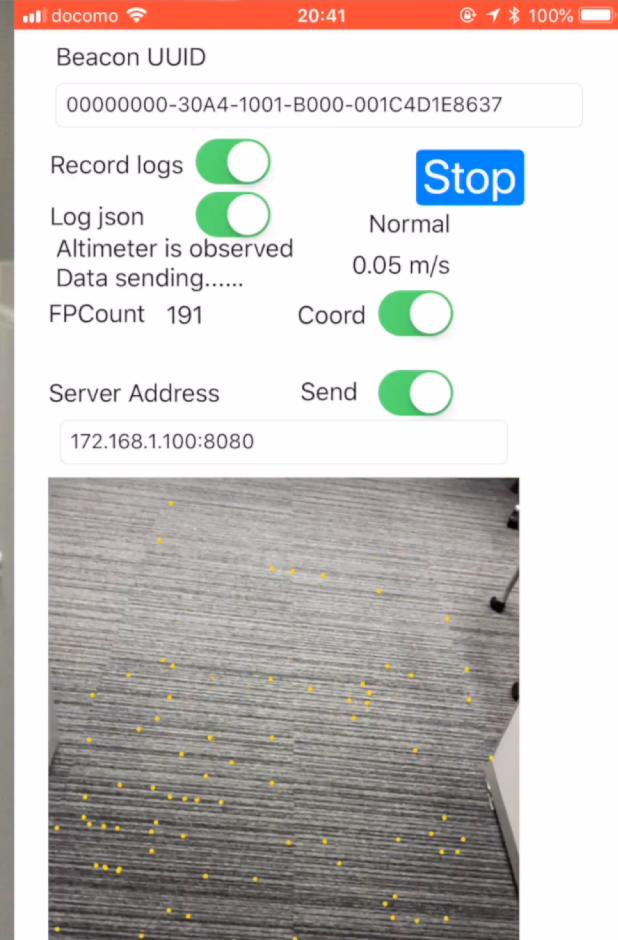


IBM

再現データセット

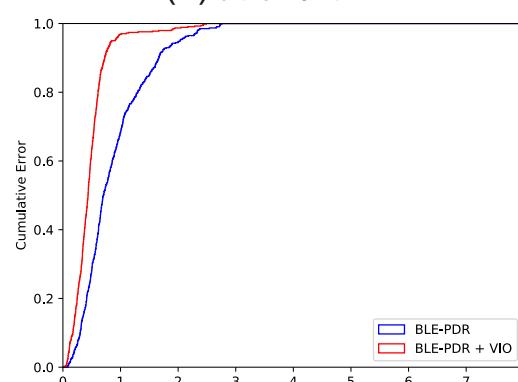
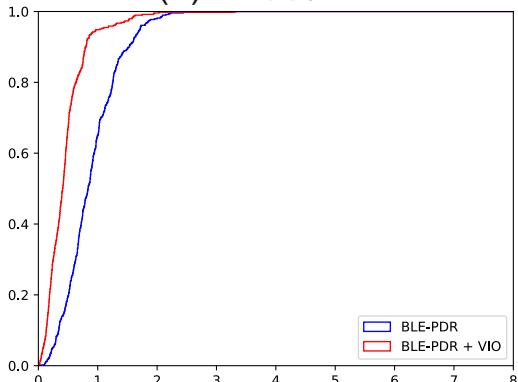
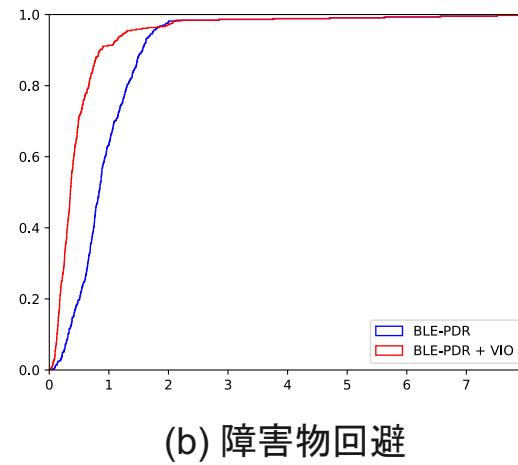
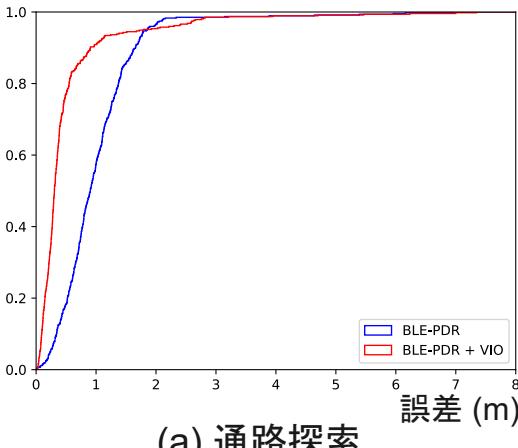
実験風景

再現データセット



測位誤差評価

累積分布



95%分位点 [m]

	BLE-PDR	BLE-PDR+VIO
a	1.85	1.76
b	1.74	1.29
c	1.72	1.02
d	2.04	0.85

平均誤差 [m]

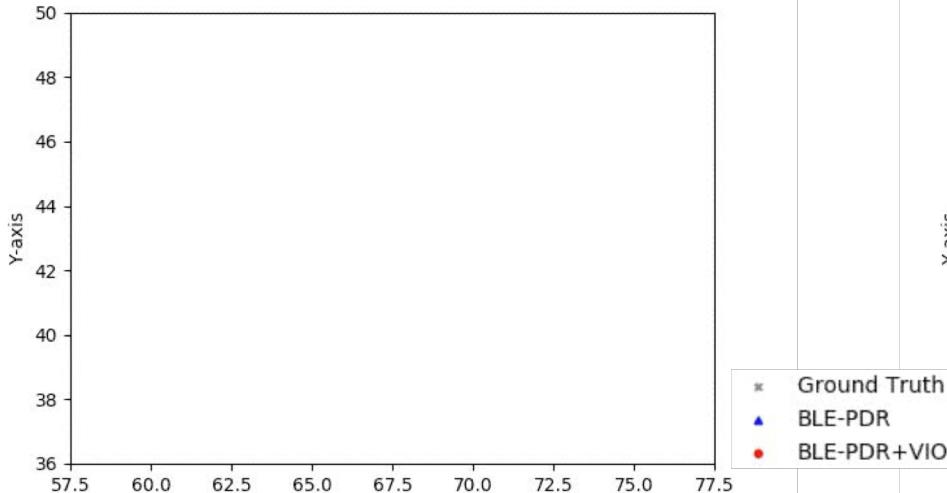
	BLE-PDR	BLE-PDR+VIO
a	1.00	0.51
b	0.96	0.53
c	0.89	0.46
d	0.87	0.48
平均	0.93	0.49

平均で約47%測位誤差減少

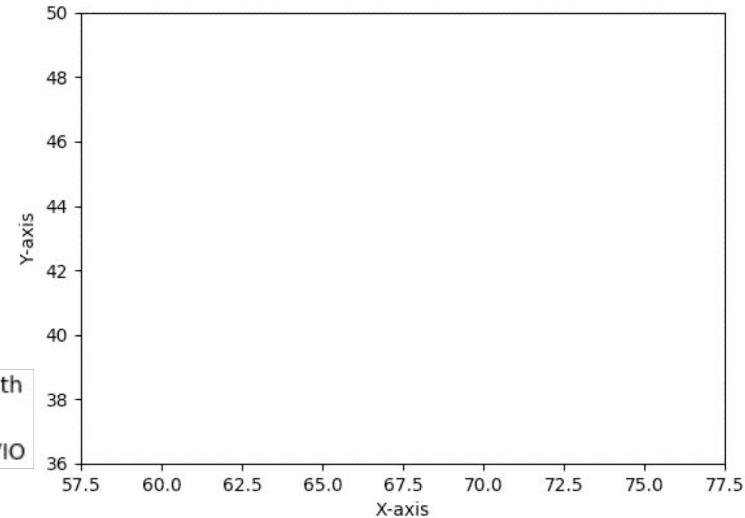


測位軌跡評価

壁面探索



地面探索



BLE-PDR: 横ステップなどを含む移動特性により正解座標から逸脱
BLE-PDR+VIO: 移動特性の影響に対してロバスト

考察

- 実験データ
 - 晴眼者が再現したものであるため、被験者実験で検証が必要
- 実験環境
 - 過去の実験に比べて狭いためVIOの誤差の蓄積が起きにくい
 - より広い実空間で検証が必要
- BLE-PDR+VIO
 - BLE-PDRが高精度の環境で実験を行なったため精度が低下した場合での挙動を検証する必要あり

まとめ

- 背景
 - 高精度化のためPDRを組み込んだハイブリッド測位の利用
 - 視覚障害者には特有の歩行動作が多く見られる
- 視覚障害者の移動特性
 - 過去のナビゲーション実験映像を分析し移動特性4つを定義
- 移動特性を考慮した測位手法
 - BLE-PDRをVIOで補完する測位システムを提案
- 結果
 - 再現した移動特性に対するロバスト性を確認
 - 測位精度は総じて47%向上

ご静聴ありがとうございました

屋内測位



- スマートフォンのセンサーを用いた測位手法
 - Wi-Fi, **Bluetooth LE**, 地磁気
 - 位置と信号強度のマップを作成し、測定した信号強度から位置を推定
 - PDR(Pedestrian Dead Reckoning, 歩行者自律航法)
 - 加速度や角速度、磁気等から歩数と移動方向を計算し、歩行量を推定する手法
 - カメラ画像
 - 画像データベースと現在の画像のマッチング
 - 連続する画像間の対応づけによる相対移動量推定 (Visual Odometry)
- 複数の測位手法を組み合わせたハイブリッド測位
 - 測位精度向上
 - 本研究では**BLE+PDR**のハイブリッド測位を利用

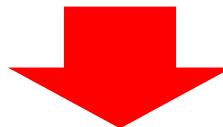
過去のナビゲーション実験

- 被験者は多くの場合においてナビゲーションタスクを完了
- 視覚障害者の歩行には固有の動作・事象が多くみられた

過去のナビゲーション実験

- 被験者は多くの場合においてナビゲーションタスクを完了
- 視覚障害者の歩行には固有の動作・事象が多くみられた

視覚障害者特有の動作が測位精度へ悪影響を与えていているのではないか?



特有の動作にロバストな測位システムが必要

屋内測位(位置推定)

- スマートフォンの各種センサから推定
 - Wi-Fi, **BLE** (Bluetooth Low Energy), 磁気を用いる手法
 - **PDR** (Pedestrian Dead Reckoning, 歩行者自律航法)
 - 加速度や角速度, 磁気等を用いて歩行量を推定
 - カメラ画像に基づく手法
- 複数の測位手法を組み合わせたハイブリッド測位
 - 測位精度向上
 - 本研究では**BLE+PDR**のハイブリッド測位を利用
- 過去のナビゲーション実験
 - 被験者は多くの場合においてナビゲーションタスクを完了
 - 視覚障害者の歩行には固有の動作・事象が多くみられた



屋内測位(位置推定)

- スマートフォンの各種センサから推定
 - Wi-Fi, **BLE** (Bluetooth Low Energy), 磁気を用いる手法
 - **PDR** (Pedestrian Dead Reckoning, 歩行者自律航法)
 - 加速度や角速度, 磁気等を用いて歩行量を推定
 - カメラ画像を用いる手法



複数の測位手法を組み合わせたハイブリッド測位

- 測位精度向上
- 本研究では**BLE+PDR**のハイブリッド測位を利用

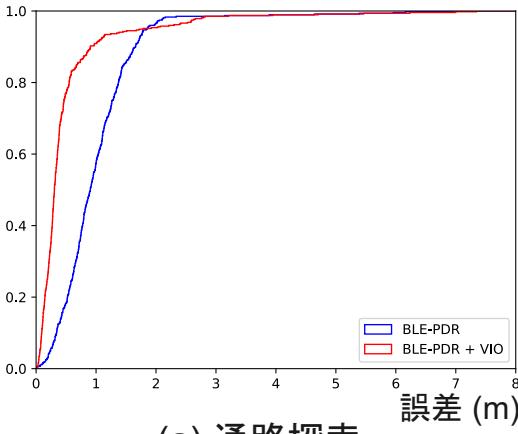
過去の実験結果

視覚障害者特有の動作が測位精度へ悪影響を与えていているのではないか?

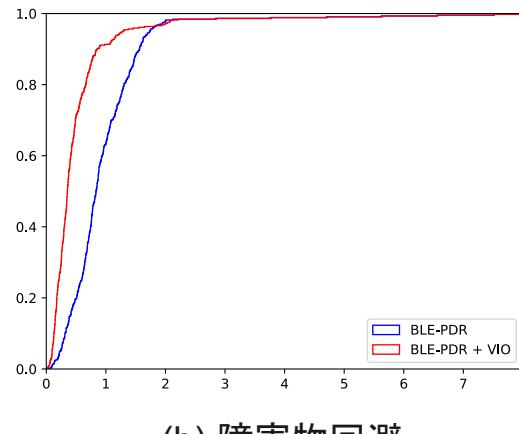
→ 特有の動作にロバストな測位システムが必要

測位誤差評価

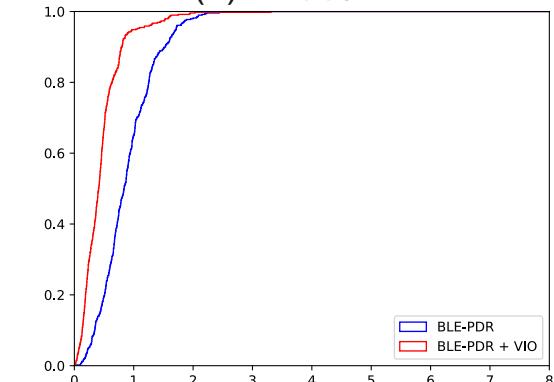
累積分布



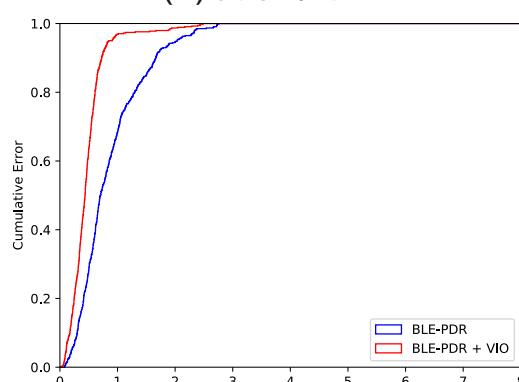
(a) 通路探索



(b) 障害物回避



(c) 壁面探索



(d) 地面探索

95%分位点 [m]

	BLE-PDR	BLE-PDR+VIO
a	1.85	1.76
b	1.74	1.29
c	1.72	1.02
d	2.04	0.85

平均誤差 [m]

	BLE-PDR	BLE-PDR+VIO
a	1.00	0.51
b	0.96	0.53
c	0.89	0.46
d	0.87	0.48
平均	0.93	0.49

約47%誤差減少

