

# 自転車ユーザ参加型路面画像センシングによる 点字ブロック配置情報の収集手法の検討

## Preliminary Study of a Method for Collecting Tactile Paving Placement Information by Cyclist-Participatory Road Image Sensing

松田 悠斗<sup>†</sup>      松田 裕貴<sup>†‡</sup>  
Yuto Matsuda      Yuki Matsuda

### 1 はじめに

日本における視覚障害者の人口は、令和4年度時点  
で約27万3千人と報告されている[1]。このような視覚  
障害者の安全かつ円滑な移動を支える上で、点字ブロッ  
クは極めて重要なバリアフリー設備である。しかし、敷  
設されている点字ブロックの中には摩耗や褪色等によっ  
て劣化したものも多く、これらは視覚障害者にとって認  
識が困難であり、重大な危険を引き起こしかねない。実  
際、総務省行政相談センターの資料「視覚障害者誘導用  
ブロック等の適切な設置及び維持管理について」[2]では、  
沖縄県内の一部区間において341件もの不備が報告され  
ており、現場での維持管理の難しさが浮き彫りになって  
いる。そのため、点字ブロックの利便性と安全性を確保  
するためには、定期的な点検と保守が必要不可欠である。  
しかし、現状では徒歩や自転車、車両による巡回点検が  
主流であり、人的・時間的コストが非常に高いため、調  
査の頻度や範囲を十分に確保することが困難である。例  
えば、総務省関東管区行政評価局の資料「視覚障害者誘  
導用ブロックの維持管理等に関する調査」[3]によると、  
大宮・東京・横浜の各国道事務所では1日から2日に1回  
の頻度で歩行点検を行っているが、その調査範囲は1km  
と限定的である。また、年1回または不定期での点検に  
とどまっている地方公共団体も存在し、全国的な点字ブ  
ロックの維持管理体制には課題が残っている。

このような背景から、点字ブロックの配置情報や劣化  
状況を自動かつ定期的に取得することができれば、点検  
作業の効率化と人的コストの大幅削減に寄与できると考  
えられる。

そこで本研究では、自転車を用いたユーザ参加型セン  
シングにより走行中の路面画像を収集し、点字ブロック  
の配置、及び劣化情報を地図上に可視化するシステムの  
構築を目指す。将来的には、車椅子やベビーカー、白杖  
等の様々な移動媒体への応用を視野に入れ、より効率的  
な情報収集体制の実現を目指す。

本稿では、小型カメラとGPSモジュールを搭載した  
自転車により走行中の路面画像と位置情報を取得し、物

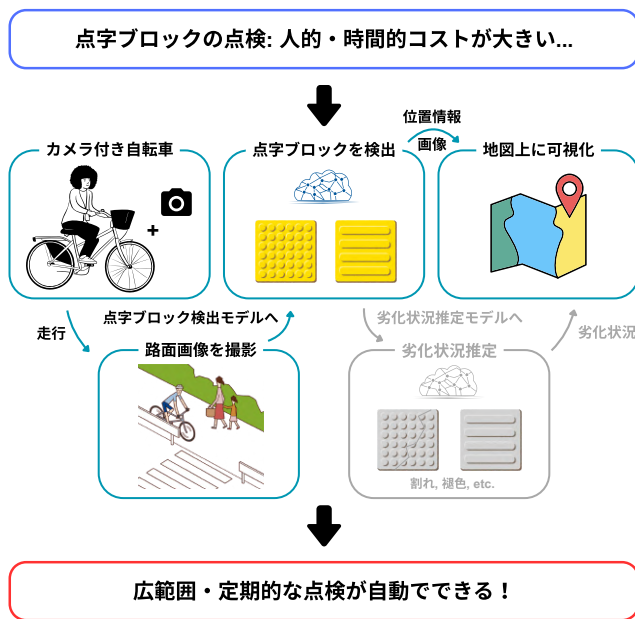


図1: 本稿の内容

体検出モデルによる点字ブロックの検出、及び地図上へ  
のマッピングを行う手法について検討する。研究概要を  
図1に示す。

### 2 関連研究

本章では点字ブロックに関する先行研究として、点字  
ブロック情報のオープンデータ化、点字ブロックの不備  
検知、及び画像認識による点字ブロック検出に関する研  
究について述べる。

#### 2.1 点字ブロック情報のオープンデータ化

田中[4]は、参加型GISにより点字ブロックの敷設状況  
や状態、管理団体等の情報を地図上で一元管理するWeb  
システムを構築している。しかし、調査は依然として歩  
行調査に依存しており、データの登録も手作業で行われ  
ている。そのため、調査範囲や頻度は限られてしまっ  
ており、広範囲かつ定期的な情報更新には対応しづらい  
という課題がある。

#### 2.2 点字ブロックの不備検知

土岐田ら[5]は、弱視者にとっての点字ブロックの識  
別のしやすさの推定を行なっている。弱視者の視界を平

<sup>†</sup> 岡山大学, Okayama University

<sup>‡</sup> 理化学研究所革新知能統合研究センター, RIKEN AIP

滑化フィルタで再現し、フィルタリング前後の DETR で  
の検出結果を比較することで、弱視者にとって識別しづ  
らい点字ブロックを不備として検出している。

### 2.3 画像認識による点字ブロック検出

画像認識技術を用いて点字ブロックを検出する様々な  
研究がなされてきた [6, 7, 8]。

Chengyi ら [6] は、物体検出モデル YOLOv7 にアテン  
ション機構である CBAM (Convolutional Block Atten  
tion Module) を組み合わせることで、オリジナルのモ  
デルと比較して約 4.1% の検出精度向上を達成している。  
Takano ら [7] らは、点字ブロックの直線性、及び黄色と  
いう視覚的特徴に着目し、多目的遺伝的最適化アルゴリ  
ズムである NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic  
Algorithm II) を用いた検出手法を提案している。これ  
により、障害物の存在や照度の大きな変化といった環境  
下においても高い検出精度を維持することに成功してい  
る。若松ら [8] は、頭部に装着したウェアラブルカメラ  
で撮影した画像から、誘導ブロック、及び警告ブロック  
の 2 種類の点字ブロックを FCN (Fully Convolutional  
Network) で領域抽出する手法を提案している。この手  
法により、再現率 84% を超える検出精度を達成しており、  
歩行中の視点からでも安定した検出性能を示している。

### 2.4 都市環境におけるユーザ参加型センシング

ユーザ参加型センシングとは、市民らが自らのスマー  
トフォンやセンシングデバイスを用いて都市環境データ  
を収集し、共有する手法である [9]。

ユーザ参加型センシングを活用して都市環境の状況を  
把握する研究は様々な対象について行われている。例え  
ば、夜間道の安全性を評価するための街灯情報収集 [10]  
や、ポイ捨てゴミ情報の収集 [11]、または、そうした都市  
環境における参加型センシングを実現するためのプラッ  
トフォーム [12] 等がある。また、自転車や車に搭載した  
スマートフォンの GPS と慣性センサを用いた段差や路面  
品質の参加型センシングも取り組まれており、広範囲を  
移動可能な媒体にセンサを取り付けることでより効率的  
な都市環境データ収集を可能としている [13, 14, 15, 16]。

### 2.5 本研究の位置付け

画像認識による点字ブロックの検出には様々な手法が  
存在するが、文献 [6, 7] において学習に用いている画像  
は、ブレが少なく点字ブロックが鮮明に写っている理想  
的なものである。また、文献 [8] では歩行中に撮影した  
画像を用いており、多少のモーションブラーや歪みが含  
まれるものの、それらは比較的小さなものである。

しかし、自転車走行中に撮影する画像は、移動速度が  
速いためモーションブラーや歪みが生じやすく、既存の  
手法では検出精度の低下が懸念される。そこで本研究で

は画質が劣化した状況下においても点字ブロックを安定  
的に検出できるシステムの構築を目指す。

## 3 提案手法

本章では、自転車走行中に点字ブロックの配置情報を  
取得する手法を提案し、各手順について以下に述べる。

### ステップ 1: センシングシステムの構築

まず、点字ブロックの配置情報を収集するセンシング  
システムを構築する。その概要を図 2 に示す。

カメラ撮影時に GPS モジュールから位置情報を取得  
し、画像と共に API に送信することで、点字ブロックの  
配置情報を収集する仕組みである。撮影のタイミングは、  
API からのレスポンス受信直後に次の撮影に移る方針と  
する。そのため、自転車の走行速度には依存せず、完全  
にレスポンスタイムに依存して決定される、したがって、  
一定距離ではなく、非周期的なデータ取得となる。なお、  
API は Python の軽量 Web アプリケーションフレーム  
ワークである Flask を用いて作成する。

本稿で構築するプロトタイプでは、M5Stack 社製のデ  
バイスを使用する。カメラには TimerCamera-X<sup>\*1</sup> を用  
いる。GPS モジュールには M5Stack 用 GPS ユニット  
v1.1<sup>\*2</sup> を使用し、M5StickC<sup>\*3</sup> と Grove 接続を行い利用  
する。デバイス間のデータ連携については、図 2 に示す  
ように、TimerCamera-X から位置情報リクエストに基  
づき、M5StickC が GPS モジュールのデータを取得・レ  
スポンスし、TimerCamera-X 側でデータを統合する形  
式を取った。

### ステップ 2: 自転車による路面画像の撮影

路面画像、及び位置情報を取得するため、自転車に小  
型カメラと GPS モジュールを装着する。自転車にはク  
ロスバイクやママチャリ等、様々な形状の車体が存在す  
るため、どの車体においても共通して装着可能な箇所を  
選定し、走行を妨げない位置にカメラを設置することが  
望ましい。また、自転車は左側通行が原則であるため、  
カメラは自転車の左側に装着することを想定する。

デバイスへの電源供給を行った後は、利用者が通常通  
り自転車で走行するだけで自動的に路面画像、及びその  
位置情報が取得できる仕組みとなる。

### ステップ 3: 物体検出モデルによる点字ブロックの検出

次に、ステップ 2 にて収集した路面画像を用いて、物  
体検出モデルの学習を行う。本稿では、物体検出モデル  
として YOLO11 [17] を用いる。

モデルの学習のため、点字ブロックが写っている画像  
を選定し、点字ブロック一つ一つに対して Bounding Box

<sup>\*1</sup> [https://docs.m5stack.com/en/unit/timercam\\_x](https://docs.m5stack.com/en/unit/timercam_x)

<sup>\*2</sup> <https://docs.m5stack.com/en/unit/unit-gps%20v1.1>

<sup>\*3</sup> <https://docs.m5stack.com/en/core/m5stickc>



図 2: センシングシステムの概要

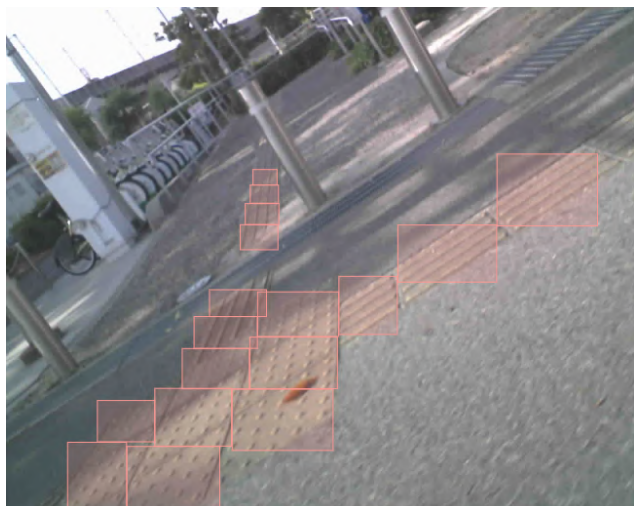


図 3: アノテーションの例

を用いたアノテーションを行う。ただし、自転車走行中に撮影した画像にはモーションブラーや歪みが生じる場合があり、このような画像において点字ブロック全体を矩形で囲もうとすると、背景領域を過剰に含んでしまう可能性がある。この場合、モデルが背景の特徴も学習してしまい、検出精度に悪影響を及ぼす恐れがある。そこで、Bounding Box は可能な限り点字ブロックの領域を中心に含むようにアノテーションを行う。また、モーションブラーが激しく、点字ブロックの境界が曖昧なものについてはアノテーションが困難であるため、学習用データセットから除外する。さらに、本研究の目的である点字ブロックの点検においては、検出された点字ブロックが画像内に十分に収まっていることが望ましい。定期的な撮影により同一箇所を複数回記録できることから、画像内に写りきらない点字ブロックを無理に検出する必要はない。そこで、点字ブロックの約7割以上が写っているものに限定してアノテーションを行う。例えば、図3では赤色の矩形で点字ブロックをアノテーションしているが、画像右端の点字ブロックは半分程度しか画像内に収まっていないため、アノテーションを行っていない。

また、本稿では学習用データに複数のカメラ設置位置から撮影した画像を用いることとする。これにより、カメラの設置位置に依存しない汎用的なモデルの作成を目指す。

## 4 事前実験

3章に示した提案手法に基づき、以下の3つの事前実験を行った。まず、岡山市内における点字ブロックの敷設状況、劣化状況、及び自転車からの撮影が可能かどうかを調査した。次に、自転車に小型カメラを装着し、路面画像を撮影する実験を行った。最後に、撮影した画像を用いて物体検出モデルYOLO11による学習を行い、点字ブロックの検出精度を評価した。以下では各項目について詳細に述べる。

### 4.1 点字ブロック敷設状況等の調査

本節では、岡山市内における点字ブロックの敷設状況、劣化状況、及び自転車からの撮影可否に関する調査について述べる。

#### 4.1.1 調査概要

調査は、図5に示す岡山市南区から岡山大学までの約11.8kmを対象に実施した。調査方法としては、実際の調査方法として主流である徒歩によって行った。点字ブロックの敷設状況、及び劣化状況は、参加型位置情報付き写真収集プラットフォーム「レポっと<sup>\*4</sup>」を用いて記録した。また、自転車からの撮影可否については、2026年4月に施行予定の道路交通法改正により、自転車の歩道通行が制限される点を考慮し、「自転車通行可」の標識がある歩道において、原則として左側の車道寄り通行を想定した上で調査を行った。

#### 4.1.2 調査結果

調査対象区間（約11.7km）のうち、点字ブロックが敷設されていたのは約8.0kmであった。そのうち、自転車走行時に撮影が可能なもの約6.9km、状況次第で撮影可能なものは約0.24kmに渡って敷設されていた。ここで、「状況次第で撮影可能な点字ブロック」とは、敷設位置が車道から近すぎる、または遠すぎることにより、通常の車道寄りの走行位置では画角に収まりにくいものを指す。ただし、歩行者や障害物の回避によって点字ブロックに接近する場合には、これらは撮影が可能となる。

また、破損や褪色等により劣化した点字ブロックについても多数確認された。その例を図4に示す。

<sup>\*4</sup> <https://repot.sokendo.studio/>





図 4: 劣化した点字ブロック

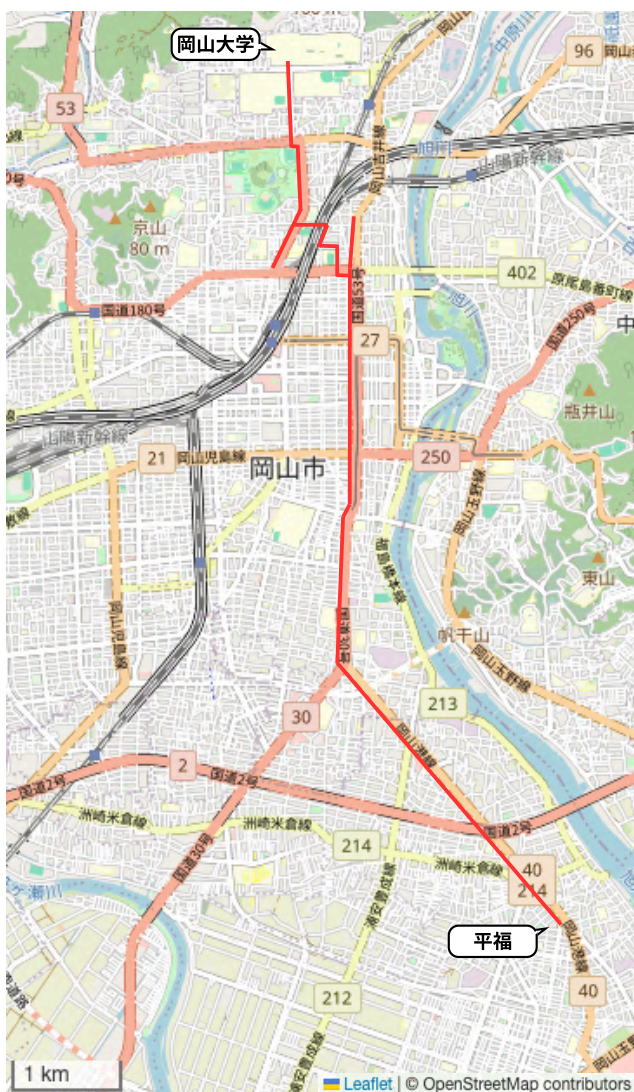


図 5: 調査区間（赤線）

なお、今回の徒歩による調査の所要時間は約 6 時間であった。実際には点字ブロックの設置状況・破損状況などを記録しなければいけないことを考慮すると、点字ブロックの保守・点検にかかる時間的・人的コストの高さが極めて高いことが明らかとなった。

## 4.2 自転車による路面撮影実験

本節では、小型カメラを装着した自転車による路面撮影実験について述べる。

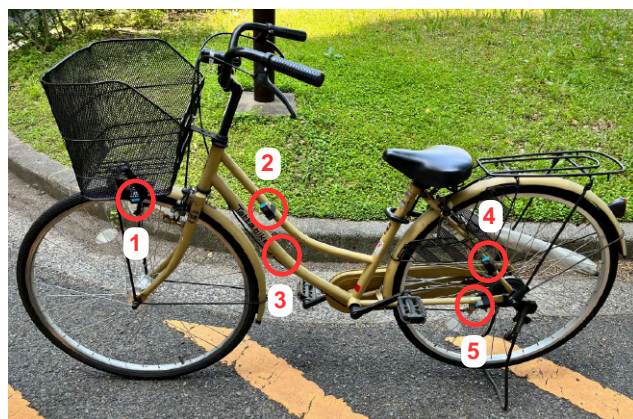


図 6: カメラの設置場所（1：前カゴ下，2：ハンドル下・トップチューブ，3：ハンドル下・ダウンチューブ，4：後輪・シートステー，5：後輪・チェーンステー）

### 4.2.1 Arduino によるカメラの設定

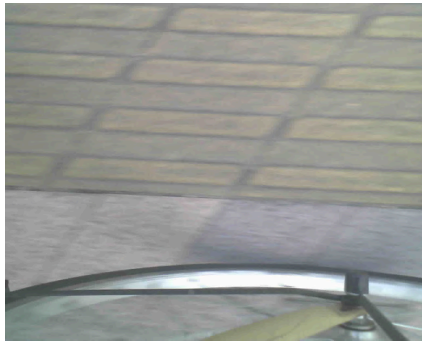
本実験で用いる TimerCamera-X は、Arduino で解像度や画質の設定を行うことが可能である。解像度は XGA や SXGA, QXGA 等から選択でき、画質は 0~63 の整数値（小さいほど高画質）で指定する。これらの設定について適する組み合わせを調査した。

まず、カメラが写真撮影・送信を安定的に可能なファイルサイズを確認した。その結果、画像のファイルサイズが約 300kB を超えると、カメラのメモリがオーバーフローする可能性があることが判明した。次に、実際の運用を想定した屋外環境において、撮影、及び画像送信が安定的に可能な解像度と画質の組み合わせを検証した。その結果、最も鮮明かつ安定した撮影が可能な設定は、「解像度：SXGA（1280×1024）」、「画質：30」であった。

### 4.2.2 カメラの設置場所とデバイス角度の調整

点字ブロックの検出に適したデバイス設置場所・カメラ角度についても調査するため、図 6 に示す 5 箇所カメラを設置し、路面画像の撮影を行った。なお、本実験ではママチャリ型の自転車を使用し、設置場所 2~5 についてはカメラ角度の調整も行った。カメラ角度が浅い（水平に近い）場合は広範囲の撮影が可能であるが、点字ブロックの撮像が不鮮明であったり、歩行者や住宅等が映りこむことによるプライバシーの懸念が生じる。一





設置場所1



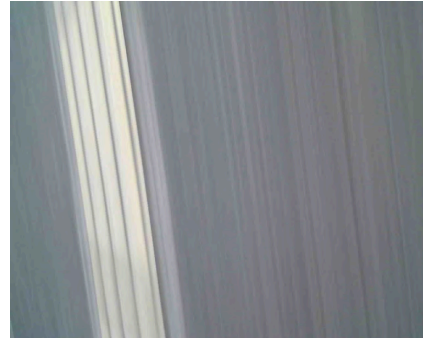
設置場所2



設置場所3



設置場所4



設置場所5

図 7: 自転車走行中の路面画像

表 1: カメラ設置場所ごとのカメラ角度設定

設置場所	カメラ角度
1 (前カゴ下)	真下
2 (ハンドル下・トップチューブ)	斜め前方
3 (ハンドル下・ダウンチューブ)	斜め側方
4 (後輪・シートステー)	前方
5 (後輪・チェーンステー)	側方

方、カメラ角度が深い（垂直に近い）場合は広範囲の撮影はできないものの、1つ1つの点字ブロックをより鮮明に撮影することができることが想定される。

デバイス設置場所ごとのカメラ角度の設定を表 1 に示し、実際にそれらの設定で撮影した路面画像の例を図 7 に示す。設置場所 1 については、自転車にカゴがあり、かつ点字ブロックに十分接近した場合に限り撮影が可能である。しかし、他の設置場所と比較して最も鮮明に点字ブロックを撮影可能であった。設置場所 4 においては撮影タイミングによっては利用者の足が画像に写り込んでおり、画像収集の妨げとなる可能性があることがわかった。また、設置場所 5 はカメラの位置が地面に近いので、モーションブレイクが顕著に生じる傾向が見られた。以上のことから、モーションブレイクが少なく障害物の映り込みが少ない設置箇所・カメラ角度の設定は設置場所 1, 2, 3 であるとわかった。

### 4.3 YOLO11 による点字ブロック検出

本節では、4.2 節にて収集した画像を用いた、物体検出モデル YOLO11 による点字ブロックの検出手法とその評価について述べる。

#### 4.3.1 モデルの学習と評価

まず、3 章にて提案した手法に従い、学習用データのアノテーションを行った。これにより、訓練データ 175 枚、検証データ 44 枚の合計 219 枚からなる学習用データセットを作成した。次に、作成したデータセットを用いて YOLO11 の最軽量モデル `yolo11n.pt` を Epoch 数 50 で学習した。学習後、モデルの性能評価のため新たに路面画像 334 枚の収集・アノテーションを行い、テストデータセットを作成した。ここで、データセットは撮影日順に作成を行ったため、カメラの設置場所ごとのデータ数には偏りが生じている。その内訳は表 2 に示すとおりである。

テストデータ全体、及びカメラの設置場所ごとにモデルの評価を行った。結果を表 3 に示す。なお、評価指標には、適合率 (Precision)、再現率 (Recall)、及び平均適合率 (mAP50) を用いた。カメラの設置場所ごとに評価結果を比較すると、設置場所 1 では適合率、再現率、平均適合率のいずれにおいても最も低い値を示した一方で、設置場所 4 では全ての指標で最も高い結果となった。これは、設置場所ごとの学習用データ数に比例して検出

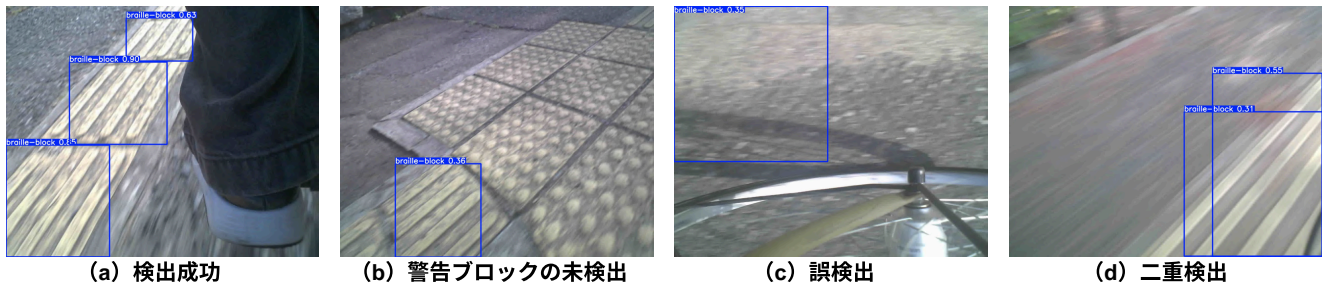


図 8: 点字ブロック検出モデルの推論結果例

表 2: データセットの撮影場所内訳

設置場所	学習用データ数	テスト用データ数
1	37	77
2	36	83
3	0	87
4	103	87
5	43	0

表 3: 点字ブロック検出モデルの評価結果

評価指標	全体	設置場所			
		1	2	3	4
Precision	0.686	0.641	0.740	0.823	0.838
Recall	0.558	0.548	0.536	0.563	0.639
mAP50	0.624	0.606	0.610	0.664	0.738

性能が向上する（設置場所 4 が最も枚数が多い）ことに起因すると考えられる。しかしながら、設置位置とカメラ角度に類似性がある設置場所 2、及び 3 を比較すると、いずれの評価指標においても設置場所 3 の方が高い結果となった。これは、設置場所 2 よりも設置場所 3 の画像の方がより浅いカメラ角度となっているため、点字ブロックが大きく映りすぎず、モーションブラーの影響が少なくなったことが要因と考えられる。なお、テストデータ全体に対する評価結果は平均適合率が 0.624 であったが、設置場所ごとの評価ではこの値を上回る例も見られた。この結果は、設置場所ごとに個別のモデルを構築することで検出タスクを単純化でき、性能が向上する可能性を示唆している。今後、この点については更なる検証が必要である。

#### 4.3.2 推論結果についての考察

前述のモデルでテストデータに対して行った推論結果の例を図 8 に示す。以下ではそれぞれのシーンについて考察する。

図 8 (a) の例では、若干のモーションブラーがかかった画像においても、点字ブロックを 1 つずつ検出できている。一方、図 8 (b) の例では、誘導ブロックが正しく

検出されているものの、警告ブロックは未検出であった。これは、学習用データ中の警告ブロックの出現頻度が少なかった点が一因であると考えられる。次に、図 8 (c) の例では、アスファルト路面を誤検出している。これは、路面上の影や模様が誘導ブロックと類似した特徴を形成したためであると考えられる。このような誤検出を抑制するため、点字ブロックを含まない背景画像を学習用データに追加することが有効であると考えられる。最後に、図 8 (d) の例では、同一の点字ブロックを二重検出してしまっている。これは、顕著なモーションブラーの影響により、点字ブロックの輪郭が曖昧になっているためだと考えられる。改善策としては、画像処理によるモーションブラーの低減が考えられるが、モデルの性能に与える影響については別途検証が必要がある。

#### 4.3.3 Web アプリケーションでの可視化

収集・検出した点字ブロック画像を地図上に可視化する Web アプリケーションを、JavaScript のフロントエンドライブラリである React を用いて開発した。本稿で開発するプロトタイプでは、検出された点字ブロック画像の撮影場所を地図上にマーカーで表示し、クリック時に詳細情報を表示する設計とした。図 9 にその例を示す。

## 5 おわりに

本稿では、小型カメラと GPS モジュールを搭載した自転車により点字ブロックの配置情報を取得し、地図上に可視化する手法を提案した。提案手法により、自転車走行中に撮影したモーションブラーや歪みを含む画像においても、物体検出モデル YOLO11 を用いて平均適合率 0.624 での点字ブロック検出が可能であることを示した。

一方で、警告ブロックの未検出やアスファルト路面の誤検出、さらにはモーションブラーの影響による点字ブロックの二重検出といった課題が明らかとなった。今後はこれらの課題を解決するため、学習データの更なる拡充を図るとともに、カメラの設置場所別に最適化した物体検出モデルの構築や、画像処理によるモーションブラーの低減がモデルの性能に与える影響についての検証を行う予定である。



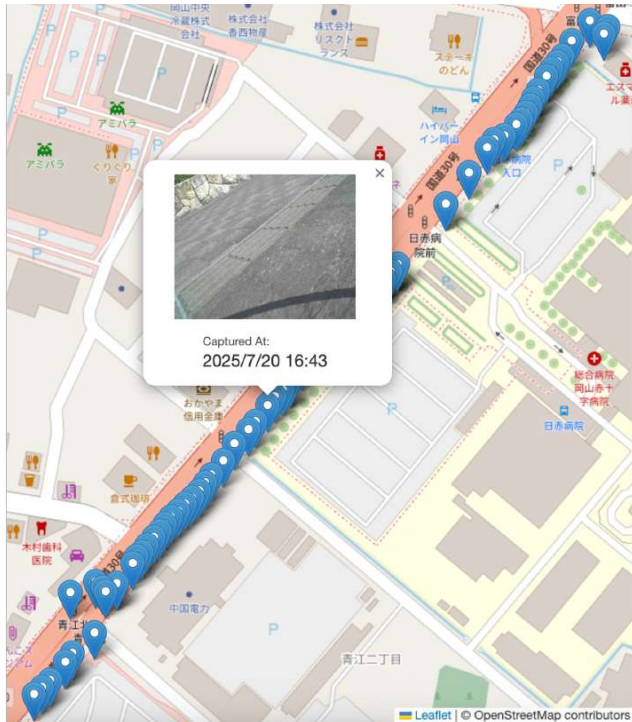


図 9: 点字ブロック配置情報の可視化 Web アプリ

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費（24K20763）の助成を受けて行われたものです。

## 参考文献

- [1] 厚生労働省. 令和 4 年生活のしづらさなどに関する調査（全国在宅障害児・者等実態調査）. [https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu\\_chousa\\_r04.html](https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_r04.html), 2022. Accessed on 05/07/2025.
- [2] 総務省行政相談センター. 視覚障害者誘導用ブロック等の適切な設置及び維持管理について. [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000901010.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000901010.pdf), 2023. Accessed on 05/07/2025.
- [3] 総務省関東管区行政評価局. 視覚障害者誘導用ブロックの維持管理等に関する調査. [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000547116.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000547116.pdf), 2018. Accessed on 05/07/2025.
- [4] 田中雅大. 東京都北区における参加型 GIS による視覚障害者誘導用ブロックの地理情報データベース構築. 日本地理学会発表要旨集, Vol. 2017s, p. 100174, 2017.
- [5] 土岐田力輝, 古田瑛啓, 奥川和希, 村山優作, 呉健朗, 宮田章裕. 視覚障害者誘導用ブロックの識別のしやすさを推定する手法の基礎検討. 情報処理学会インタラクティオン 2023 論文集, pp. 451–453, 2023.
- [6] Chengyi Shi, Qun Zhao, Nan Fang, and Yufeng Mao. Tactile Paving Recognition Method Based on Improved YOLOv7. *Journal of Electronic Research and Application*, pp. 22–27, 2024.
- [7] Tsubasa Takano, Takumi Nakane, Takuya Akashi, and Chao Zhang. Braille Block Detection via Multi-Objective Optimization from an Egocentric Viewpoint. *Sensors*, Vol. 21, No. 8, 2021.
- [8] 若松直人, 中田裕一, 田中直樹. 点字ブロック領域・種別識別による視覚障がい者支援システムに関する研究. 第 82 回全国大会講演論文集, Vol. 2020, No. 1, pp. 401–402, 2020.
- [9] Jeffrey A Burke, Deborah Estrin, Mark Hansen, Andrew Parker, Nithya Ramanathan, Sasank Reddy, and Mani B Srivastava. Participatory Sensing. *Center for Embedded Network Sensing*, 2006.
- [10] 松田裕貴, 新井イスマイル. スマートフォン搭載照度センサの集合知による網羅的な街灯情報収集システムの開発. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 2, pp. 750–760, 2014.
- [11] 立花巧樹, 中岡黎, 宮地篤士, 富田周作, 松田裕貴, 中村優吾, 諏訪博彦. カメラ装着型トングを用いたポイ捨てごみの種別認識手法の提案と評価. 第 28 回社会情報システム学シンポジウム（ISS28）, pp. 1–6, 2022.
- [12] Yuki Matsuda, Shogo Kawanaka, Hirohiko Suwa, Yutaka Arakawa, and Keiichi Yasumoto. Par-moSense: Scenario-based Participatory Mobile Urban Sensing Platform with User Motivation Engine. *Sensors and Materials*, Vol. 34, No. 8, pp. 3063–3091, 2022.
- [13] Xuan Xiao, Ruipeng Gao, Weiwei Xing, Chi Li, and Lei Liu. How Many Bumps in Your City? Personalized Bump Seeker With Mobile Crowd-sensing. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 71, pp. 1–12, 2022.
- [14] Davidson E Nunes and Vinicius FS Mota. A Participatory Sensing Framework to Classify Road Surface Quality. *Journal of Internet Services and Applications*, Vol. 10, No. 1, p. 13, 2019.
- [15] Zhe Xiao, Hock Beng Lim, and Loganathan Pon-nambalam. Participatory Sensing for Smart Cities:

A Case Study on Transport Trip Quality Measurement. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, Vol. 13, No. 2, pp. 759–770, 2017.

- [16] Junji Takahashi, Yusuke Kobana, Naoya Isoyama, Yoshito Tobe, and Guillaume Lopez. YKOB: Participatory Sensing-Based Road Condition Monitoring Using Smartphones Worn by Cyclist. *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 101, No. 4, pp. 3–14, 2018.
- [17] Glenn Jocher and Jing Qiu. Ultralytics YOLO11. <https://github.com/ultralytics/ultralytics>, 2024. version 11.0.0.