

ネットワークカメラと物体検出アルゴリズムを用いた駐輪場管理支援システムの提案

西海大愛^{†1} 坂内蓮^{†1} 桐生優和^{†1} 鈴木大翔^{†1} 福嶋穂倖^{†1} 中川瞳^{†1} 川合康央^{†1}

概要：本研究では、物体検出アルゴリズム YOLOv5 を用い、地方自治体等が管理する駐輪場での管理業務の支援と、駐輪場の調査業務の支援を行うシステムを提案するものである。本システムの運用体系は、駐輪場管理者を対象とした一般ユーザー用システムと、調査業務そのものの管理者となる公的な組織を対象とした管理者用システムで構成される。一般ユーザー用システムでは、駐輪場に設置された監視カメラ（ネットワークカメラ）からの入力映像をもとに、YOLOv5 による推論結果をもとに生成されたデータを可視化する。管理者用システムでは、特定の VPN 経由によるアクセスのみを対象にして、全国の駐輪場の情報検索と可視化を行うものとした。

1. はじめに

近年、自転車は、特に都市部において交通渋滞などを引き起こさず、健康で環境負荷の少ない移動手段として見直されている。自転車利用が推進される中、自転車道の整備とともに、自転車の駐輪対策が求められている。しかし、都市部における駐輪場の設置空間は限られたものとなっており、道路空間をはじめとした公有地を利用した駐輪場も増えている。令和3年5月渋谷区自転車等駐輪場の整備と対策に関する方針[1]によると、公共、民間共に新たに駐輪場専用の土地を用意して整備を行うことが難しい現状であることが問題視されている。また、民間の駐輪場や一定規模以上の集客施設に設置された駐輪場に関しては、条例により来訪者のための駐輪場整備が義務付けられていることから、駐輪場を屋内に設置する事例も多い。しかし、利便性の低い駐輪場も多く、屋内駐輪場の利用率が上がらない事例も確認されている。駐輪場を取り巻く問題は、駐輪場の設置数だけではなく、地域や時間によっては、特定の時期や時間により利用率の増加が増加し、既存の駐輪場スペースが足りなくなる事例も挙げられる。特に、通勤や通学等で利用者が増加する駅周辺や、利便性の高い主要駅やターミナル駅では、前述のような事例が起きやすいことが示されている。また、放置自転車に関する問題点も指摘されている。特に、歩道上に放置された自転車や放置自転車の撤去の時期や時間帯を把握したうえで放置をする自転車利用者がいることも示されている。令和3年3月横浜市自転車施策検討協議会の持続可能な自転車駐輪場の在り方について[2]では、人口減少に伴い放置自転車の減少を予測している一方で、人口増加が予測される地域では、放置自転車の台数が依然として多いことを問題視している。さらに令和3年度の国家公安委員会による交通安全業務計画[3]では、令和3年度から令和7年度までを計画期間とした自転車活用推進計画[4]及び安全で快適な自転車利用環境創出ガイ

ドライン[5]を踏まえた積極的な駐輪場施策の推進を計画している。これらから、駐輪場や自転車を対象としたIT技術の活用は、今後増加することが予測できる。

こうした状況の下、本研究では、駐輪場の監視カメラを利用した駐輪場管理システムの開発を行った。大規模な駐輪場だけでなく、駐輪場管理者が常駐していない駐輪場に対しても盗難防止対策や放置自転車の対策等が必要なことから監視カメラを設置していることが多いため、本システムではこのカメラ映像を用いて駐輪場の管理を行うこととした。また、駐輪場の増加に伴い、駐輪場の状況調査業務を支援する仕組みを、駐輪場管理システムの中に組み込むことにより、正確で統一的な調査内容を記録する方法を提案する。

2. 先行事例

人流や交通、駐車場等を監視対象とした画像認識や物体検出による管理システムの開発は、既に実用運用が可能なものが多い。木村ら[6]は、駐車場を対象とした利用情報の可視化を物体検出の手法を用いて提案している。監視カメラからの入力情報をもとに、物体検出を行うという点で本研究との類似性がある。相違点として木村らは卸売市場の駐車場を対象にしているのに対し、本研究では一般利用者向けの駐輪場に焦点を当てている点が挙げられる。岡野ら[7]は、物体検出を用いて交通量の自動調査方法を提案している。こちらも物体検出の分野から交通情報の可視化システムの提案を行っている点から類似性がある。相違点として、岡野らは一時的な交通量の調査に着目しているが、本研究では1つの対象物に対し長時間の追跡を行う点が挙げられる。また、岡野らは、スマートフォン等を対象にした計測が快適に行えるデバイスを対象とした開発を行っているが、本システムでは機能の大半をWebサーバーや専用のインスタンス上に配置し、中規模以上かつ長期間の運用を目的としたシステムの開発手法を提案している。斎藤[8]ら

^{†1} 文教大学情報学部

はライブカメラを用いた車両追跡に関する手法を提案している。交通量の調査を目的としている点で本研究と類似性がある。相違点として斎藤らは道路上に設置された単独のライブカメラによる車両追跡を目的としているのに対し、本研究では複数台のカメラによる駐輪場の利用状況把握を目的としている点が挙げられる。

以上のように瞬発的な交通量調査や車両追跡等を物体検出の手法を用いて提案している研究事例は多く存在する。一方で自転車やオートバイ等の不規則な形状や透過範囲の多い物体を対象とした管理システムの開発は困難な領域といえる。

3. システムの開発

本システムは Web システムを基盤とした 2 種類の Web アプリケーションで構成されている。またインフラの構築には Amazon Web Service を利用した（図 1）。

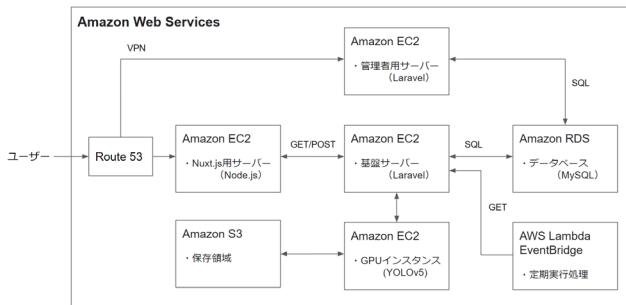


図 1 開発システムのインフラ構成

3.1 駐輪場管理支援システム

駐輪場管理支援システム（図 2）の目的は、物体検出アルゴリズム YOLOv5[9]と、オブジェクトトラッキングアルゴリズム Deep SORT[10]を用いて、駐輪場の管理支援を行うことである。主な機能として、複数台の監視カメラからの入力による自転車の監視機能、グラフ描画や CSV 出力による駐輪場の可視化機能（図 3）、ラベル付け機能（図 4）、認証機能等がある。

フロントエンドは、Nuxt.js によるサーバーサイドレンダリングを採用した構成となっているため、ユーザーの端末スペックによる遅延や機能低下を可能な限り取り除くことが可能である。バックエンドは、Laravel と FastAPI による基盤サーバーと、物体検出アルゴリズム YOLOv5 を設置する GPU インスタンスで構成されており、汎用性と中規模以上の運用を想定したインフラ構成となっている。

駐輪場管理支援システムでは、駐輪場の死角や駐輪スペース以外の検出を避けるために、複数のカメラからの入力を可能としている。カメラの登録時にユーザーが任意範囲をラベル付けすることにより、特定の範囲のみを検出する機能を実装した。また、放置時間の上限や収容可能数など

の情報は、ユーザーが任意に設定可能なものとして、全国の駐輪場で利用可能なシステム構成とした。グラフの出力は、1 時間ごとに EventBridge と AWS Lambda で基盤サーバーの API にリクエストを送ることで定期的な更新を行う。

GPU インスタンス内で稼働する YOLOv5 は、Deep SORT を組み合わせた構成により、駐輪場の自転車を 1 台ずつ検出して定期的にデータの収集を行う。検出されたデータは 30 分ごとに差分をまとめ、基盤サーバー経由でデータベースに送信する。GPU インスタンスは、カメラとの接続が必要な点から、データベースとのやり取りや画像等の実態のあるデータの保存はセキュリティ上の問題から行わない。検出時に出力される自転車のトリミング画像やラベル付けの際に使用するフレーム画像は、S3 に一時保存し、リクエストがあった際に FastAPI 経由でオブジェクトとして返す。



図 2 駐輪場管理支援システム



図 3 グラフ描画機能

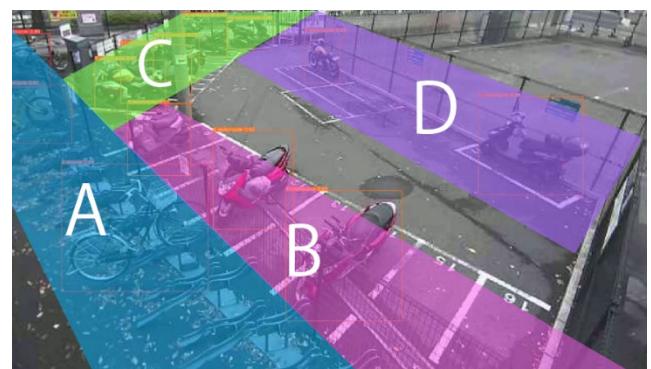


図 4 ラベル付け機能

3.2 管理者用システム

管理者用システム（図 5）の目的は、原則として省庁以上の組織をシステムの利用可能対象として、全国の駐輪場の情報を提供することである。主な機能は、全国の駐輪場のグラフ描画機能（図 6）や CSV 出力機能（図 7），カメラ接続機能、認証機能である。以上から管理者用システムの認証は通常のメールアドレスとパスワードによる認証に加え、特定の VPN 経由によるアクセスのみを利用可能対象とする機能を実装した。VPN の判定は Amazon Web Service のセキュリティグループによるものと、インスタンス内の Laravel でミドルウェアによるもので、二重の判定を設けている。

フロントエンドとバックエンドは、Laravel により構築している。データベースは駐輪場管理支援システムと共有する構成となっているため、駐輪場管理支援システムで得られた最新情報を管理者に提供することができる。以上から管理者用システムは、駐輪場管理者用システムに比べ小規模であり、社内システムに近い位置付けとなっている。

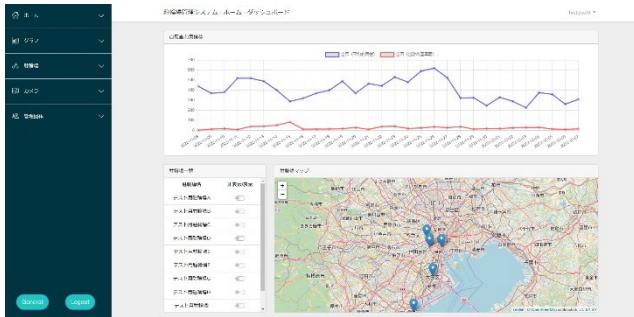


図 5 管理者用システム



図 6 グラフ描画機能

駐輪場管理システム CSV				
登録ID	登録名	登録日	登録時間	登録IP
01	自転車登録	2022/11/12	13:00:00	222.11.12.119.09:07
02	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:01	222.11.12.119.09:07
03	車両登録	2022/11/12	13:00:02	222.11.12.119.09:07
04	自転車登録	2022/11/12	13:00:03	222.11.12.119.09:07
05	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:04	222.11.12.119.09:07
06	車両登録	2022/11/12	13:00:05	222.11.12.119.09:07
07	自転車登録	2022/11/12	13:00:06	222.11.12.119.09:07
08	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:07	222.11.12.119.09:07
09	車両登録	2022/11/12	13:00:08	222.11.12.119.09:07
10	自転車登録	2022/11/12	13:00:09	222.11.12.119.09:07
11	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:10	222.11.12.119.09:07
12	車両登録	2022/11/12	13:00:11	222.11.12.119.09:07
13	自転車登録	2022/11/12	13:00:12	222.11.12.119.09:07
14	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:13	222.11.12.119.09:07
15	車両登録	2022/11/12	13:00:14	222.11.12.119.09:07
16	自転車登録	2022/11/12	13:00:15	222.11.12.119.09:07
17	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:16	222.11.12.119.09:07
18	車両登録	2022/11/12	13:00:17	222.11.12.119.09:07
19	自転車登録	2022/11/12	13:00:18	222.11.12.119.09:07
20	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:19	222.11.12.119.09:07
21	車両登録	2022/11/12	13:00:20	222.11.12.119.09:07
22	自転車登録	2022/11/12	13:00:21	222.11.12.119.09:07
23	オートバイ登録	2022/11/12	13:00:22	222.11.12.119.09:07
24	車両登録	2022/11/12	13:00:23	222.11.12.119.09:07

図 7 CSV 出力機能

4. 評価実験

九ノ内鍛冶橋オートバイ専用駐車場ライブカメラ[4]に映る駐輪場とオートバイ専用駐車場を対象に、本システムの短期的な運用実験を行った。（図 8）

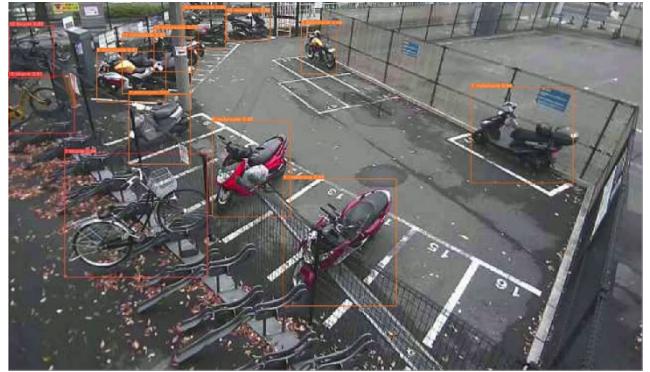


図 8 運用実験の様子

4.1 学習に使用したモデルと元データ

本研究では YOLOv5 を用いて自転車、オートバイ、自動車を学習内容に含めた専用の予測モデルを作成した。

表 1 作成した予測モデル内容

使用モデル	YOLOv5X
元画像	50×3 倍
加工	左右反転、回転 15°，輝度 15°，ノイズ、グレースケール

4.2 学習結果

YOLOv5X を用いた学習結果（図 9）を見ると val/obj_loss のグラフにて増加傾向がみられることから過学習になっている可能性がある。これは元データのバリエーションを、駐輪場を想定したものにできないことと、元データの全体的な傾向を学習に反映できていない点にあると考えられる。上記の結果から実運用が可能なレベルのモデルの作成には、駐輪場に適した元データを複数地点分用意した後、データ全体の傾向を掴んだモデルの作成が必要となる。

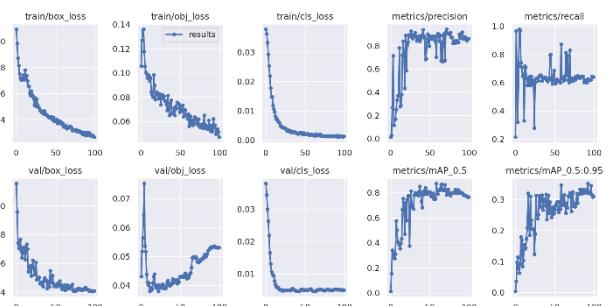


図 9 YOLOv5X を用いた学習結果

4.3 運用結果

前述したモデルを利用して、2時間程度の運用実験を行った。運用の結果、今回の実験対象とした駐輪場では、オブジェクトの重なりによるトラッキングの外れや検出漏れ等は発生しなかった。しかし、今回の実験においては数か月規模での実験は行えていないため、引き続き実運用に向けた精度調査と負荷テストは必要となる。また GPU インスタンスは負荷量に応じてスケーリングを行っていく必要があるとともに、可能な限り軽量なモデルでの運用を行う必要がある。

4.4 システムの使用感について

本研究で開発を行った駐輪場管理支援システムと管理者用システムに関して、どちらも管理システムとしての機能を問題なく使用可能な状態である。また、本システムでは、すべてのフローを Web システム内で完結させたことにより、ユーザーの端末スペックや環境に左右されにくい汎用性の高いシステムを開発することが可能であった。

駐輪場管理支援システムに関しては、Nuxt.js のサーバーサイドレンダリングにより、ページ遷移時にリロードが発生する従来の Web サービスとは異なり、最低限のリクエスト回数で軽量かつ快適な操作性を実現することができた。また、ラベル付け機能の導入でより正確な検出精度で自由度の高い管理システムとなったのではないかと考える。一方で、ページのレンダリング後に行う画像取得の処理や、自転車表示用モーダル（図 10）に関しては、1~3 秒程度の遅延が発生しているため、処理速度の向上や API の設計を見直す必要がある。

管理者用システムに関しては、VPN によるユーザーの判定機能を実装したことにより、一般的な Web システムに比べて強固セキュリティ対策を行うことができた。一方で提供する情報が省庁等の組織向けの内容かどうかは検討する必要があり、実際に現場の声を反映した内容に更新していく必要があると考えられる。本研究では、収集した情報の提供方法を JPEG 形式のグラフ描画と CSV 形式の表としたが、実運用に向けての調整としては、自治体が実際に使用する報告資料を作成できる機能の実装を行うことが適切だと考えられる。

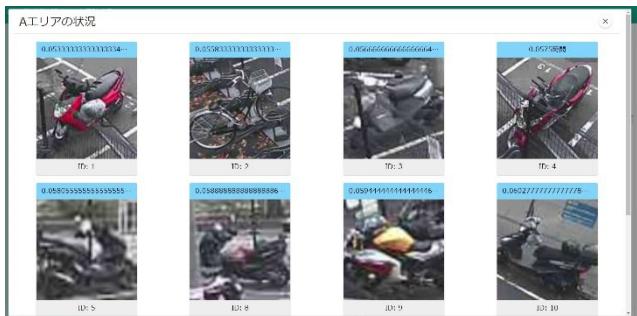


図 10 自転車表示用モーダル

5. まとめ

本研究では物体検出アルゴリズム YOLOv5 を用いて、駐輪場における自転車問題の解決を支援するシステムの提案を行った。本システムの開発ではフロントエンドに Nuxt.js を用いて、サーバーサイドレンダリングによる軽量な動作を可能とするフロントエンドの構成となっている。生成する HTML をサーバー側で生成することによりクライアント側の HTML の生成時に発生する負荷を軽減することができる。またバックエンドには Laravel と一部の API サーバーには FastAPI を用いており、中規模の運用を想定した構成になっている。本システムはデータベースの読み込み動作が多いことから MySQL を使用している。物体検出アルゴリズム YOLOv5 を動作させる GPU インスタンスは Amazon Web Service の EC2 (g4dn.xlarge) を利用した。本システムではオブジェクトの検出や追跡、画像の出力等を高速に行う必要があることから専用の GPU インスタンスを設置した。しかし本研究では大量の画像の同時出力や高負荷時のテスト、インスタンスの自動スケーリングなどは行えていないため、今後実運用に向けた検証や改修等が必要と考える。

開発したシステムを用いて実際の駐輪場の映像を用いた検証を行った結果、オブジェクトの重なりによるトラッキングの外れや検出漏れ等は発生しなかった。一方で、本システムによる長期的な運用実験ができていないという課題が残っている。これは、時間による要因とプライバシーによる要因が合わさっていることから解決が難しい課題である。とくに YOLOv5 で使用するモデルの作成には、精度の高いモデルの作成を行う場合、100 枚近い駐輪場の画像と数か月に及ぶ駐輪場の監視カメラ映像が必要であり、駐輪場のバリエーションも変える必要がある。自治体や民間の組織からの監視カメラ映像の提供が必要ではあるが、駐輪場の利用者のプライバシー保護に関する点や、監視カメラ本来の設置目的から逸脱する可能性がある点など、いくつかの課題がある。また、雨天、積雪による影響やカメラの性能差による検出精度変化、暗所での変化等の調査も必要である。

システムの導入により得られる利益を追求した開発については、サーバー負荷軽減やクエリの処理速度にも焦点を当たした効率的な Web システムの開発を行う必要がある。とくに YOLOv5 を設置する GPU インスタンスにかかる費用は、通常の Web サーバーとは比較にならないものになることが予想される。単純な処理の高速化や通信方法の効率化だけでは根本的な解決ができない部分も多いことから、機械学習を用いた Web サービスの費用対効果に関する解決手段は、機械学習を用いた Web サービスの開発において、抜本的な解決策について追求する必要があると考える。

参考文献

- [1] “令和3年5月渋谷区自転車等駐輪場の整備と対策に関する方針”.
<https://www.city.shibuya.tokyo.jp/assets/kusei/000056630.pdf>, (参照 2022-12-17).
- [2] “持続可能な自転車駐輪場の在り方について”.
https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/machizukuri-kankyo/doro/jigyo_kikaku/jitensha/h26.files/20210318_tousinan.pdf, (参照 2022-12-17).
- [3] “交通安全業務計画”.
<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/keikaku/R3anzenkeikaku.pdf>, (参照 2022-12-17).
- [4] “自転車活用推進計画”.
https://www.mlit.go.jp/road/bicycleuse/good-cycle-japan/assets/pdf/jitensha_katsuyo.pdf, (参照 2022-12-17).
- [5] “安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン”.
<https://www.mlit.go.jp/road/road/bicycle/pdf/guideline.pdf>, (参照 2022-12-17).
- [6] 木村和真, 藤井信忠, 渡邊るりこ, 國領大介, 貝原俊也, 多田暁, 中村隆之. 映像情報を用いた駐車場利用状況の可視化に関する研究. 第65回自動制御連合演習会講演論文集, 2022, p.1513-1516.
- [7] 岡野将大, 大久保純一, 小篠耕平, 菅原宏明, 藤井純一郎. 物体検出を用いた交通量のモデルの比較. 人工知能学会全国大会論文集第35回全国大会, 2021, p.2Yin516.
- [8] 斎藤大河, 景山洋一. 道路ライブカメラを対象とした車両追跡に関する基礎検討. 情報処理学会第84回全国大会論文集, 2022, p.621-622
- [9] “Github : ultralytics yolov5”, <https://github.com/ultralytics/yolov5>, (参照 2022-12-17).
- [10] “Github : nwojke deep_sort”,
https://github.com/nwojke/deep_sort, (参照 2022-12-17).