物体検知アルゴリズムを用いた自転車交通流の検出に関する基礎的研究

湯島　琉晴[1]・瀧本　康太[2]・有村　幹治[3]

[1]学生会員　室蘭工業大学　大学院工学研究科　環境創生工学系専攻（〒050-8585 室蘭市水元町 27-1）
E-mail: 23041081@muroran-it.ac.jp

[2]学生会員　室蘭工業大学　大学院工学研究科　環境創生工学系専攻（〒050-8585 室蘭市水元町 27-1）
E-mail: 22041050@muroran-it.ac.jp

[3]正会員　室蘭工業大学　教授　大学院工学研究　もの創造系領域（〒050-8585 室蘭市水元町 27-1）
E-mail: arimura@muroran-it.ac.jp (Corresponding Author)

我が国では自転車通行空間に整備の一環として矢羽根の整備が進められている．しかし，現在行われている矢羽根整備効果の調査では，汎用性が高い手法は確立されていない．一方，AI を用いた画像認識技術を利用した自動車交通量解析が導入されている．しかし，国内における画像認識技術による自転車交通量調査を意識した研究例はまだ報告数が少なく，有用性の認知度に対して研究蓄積は進んではいないのが現状である．そこで本研究では札幌市の矢羽根整備区間を対象として，画像認識技術を用いて自転車が矢羽根上及び歩道上の通行時における交通量を矢羽根整備前後で計測し，その計測結果を用いて矢羽根整備前後における交通状況の変化を明確にするアルゴリズムの構築と矢羽根型路面表示の遵守状況を明確にすることを目的とする．

Key Words: *traffic survey, bicycle lane ,artificial intelligence (AI), image recognition*

1. はじめに

我が国では歩行者，自転車及び自動車の安全性向上を目指し，自転車通行空間に整備の一環として矢羽根(ブルーレーン)の整備が進められている．北海道札幌市においては「札幌都市部自転車通行位置の明確化の取り組み」[1]に基づき，矢羽根型路面標示の設置が進められている．また，札幌市では平成 25 年から令和 5 年にかけて自転車の車道通行率が約 12%から約 42%まで上昇した報告がある [2]．このように矢羽根型路面表示の設置効果の検証が進められている．しかし，現在矢羽根整備効果の調査方法はアンケート調査やビデオカメラ動画の目視観測調査を主としており，汎用性が高い手法にはなっていない．

一方，今日 AI を用いた画像認識技術を利用した自動車交通量解析技術の導入が進んでいる．AI を用いた交通量解析は人手観測と比較したときの低価格性や安定性，年中の運用が可能であり有用性が高い手法といえる．しかし，AI を用いた画像認識技術はその有用性・汎用性の認知度に対し，自動車の交通量解析の運用にのみ留まっているというのが現状である．そこで本研究では，札幌市の矢羽根整備区間を対象として，画像認識技術を用い自転車が矢羽根上及び歩道上の通行時における交通量を矢羽根整備前後で計測し，その計測結果を用いて自転車利用者が通行区間の選択に各種交通量の影響度を明らかにするモデル構築行うとともに，矢羽根整備前後における自転車道の遵守状況を明確にすることを目的とする．

2. 既存研究と本研究の位置づけ

自転車道整備効果の検証に関連した先行研究としては阿部ら [3]の研究がある．この研究では，岡山市内国道 53 号の自転車道を対象として，ビデオ撮影による交通観測

とアンケート調査の結果に基づいて，整備効果を検討している．結果として，自転車道整備前後で自転車と歩行者の平均通行速度が上昇していた．しかし，整備後の自転車道遵守率は20.9%～49.2%の低い割合にとどまっている．また，アンケート調査の結果では通行空間改善と直接関連する項目の評価が向上している一方で交通処理に関しては，評価意識に十分な改善が見られなかった．

交通量観測に物体検知アルゴリズムを使用した先行研究としては瀧本ら[4]の研究がある．札幌新川 IC を対象として現地による人手観測，YOLO による自動計測の値から計測精度を評価し，計測精度低下の発生要因を調査した．この研究から交通の混雑，気象条件，カメラの画角が計測精度低下につながることを確認した．

峯岸ら[5]は自動車が画面内を垂直に横切るような撮影角度を対象とし解析を行った．反対車線を走行する自動車を除外するため，選定方向側から動画内に写る車両のみを抽出する処理を加え，実用に使用可能なレベルの自動車抽出処理機能を構築した．

尾原ら[6]は二輪車および歩行者に対応した交通量と移動速度が推定可能な交通計測 AI の開発を行った．観測地点の画像を背景にした合成画像を学習させることで，検出精度の向上が確認された．また，速度推定手法に関して YOLOv5 と StrongSORT を組み合わせることで，位置情報と時間情報を取得し，射影変換によって距離情報を取得することで実現可能とした．

このように，日本国内において自転車道整備効果検証に関連した報告は存在するが，調査方法として人手観測やアンケートによる検証に留まっている．また，物体検知アルゴリズムを利用した自動車だけでなく二輪車や自転車の交通量観測の分析能力向上を目的とした研究事例があり，高い精度の解析結果を得た研究も存在する．

以上より，本研究では精度と処理速度がともに高い YOLOv8 というモデルを基本とした交通計測が可能なアルゴリズムを構築し，札幌市の自転車道整備前後における自転車道整備効果の検証を行う．

3. 使用したアルゴリズムとデータセットの概要

本研究における交通量調査は，映像内の自転車，人間，自動車，トラックの検出(detection)それらの計測(counting)という二段階のプロセスからなる．この解析に用いたのは，YOLOv8 アルゴリズムである．また，データセットは Microsoft COCO(Comon Object in Context)[7]の画像データセットを用いた．人間，自動車，トラックに関しては高い検出精度を示した．しかし，自転車の検出精度が著しく低いという問題が生じた．そこで，学習済みモデルの機械学習に使用された画像を確認したところ本研究で使用した動画のような日本の都市で撮像されたものは少なく，海外で撮像された画像を多く使用されていた．また，撮像されている自転車についても，国産の自転車とは形状や特徴が異なっていた．

よって，本研究では YOLOv8[6]を使用する際にオリジナルのデータセットを作成した．以下にデータセット作成の各工程と使用したアルゴリズムの詳細を記述する．

(1) 画像収集

YOLO における学習画像数は一般に 1 種類あたり 2000 枚程度が目安とされている．そこで，自転車の画像として 2636 枚確保した．自転車の車種の内訳とそれらの台数は**表-1** に示す．

また，その他の種類はそれぞれ 2000 枚ずつ COCO の画像データセットを用いた．

- シティサイクル(ママチャリ)：日本における最も一般的で多数を占める日常生活用車種をまとめた．
- クロスバイク：形状の特徴が類似していたため，ロードバイク，マウンテンバイクもまとめた．
- 子供載せ自転車：自転車の前方及び後方の部分が特徴的な形状をしていたため，分類した．
- その他：上記にある自転車の形状とは明らかに異なるものをまとめた．

表-1 自転車の車種と台数

	シティサイクル	クロスバイク	子供載せ自転車	その他
台数	955	1546	487	795

(2) 教師データの作成

収集した全自転車画像に対して教師データの作成を行った．本研究ではグラフィック画像アノテーションツール labelImg[8]を用いた．画像内にある自転車の部分に対し長方形型の領域を指定することで，画面の左上が始点(X:0，Y:0)となり「種類，X座標，Y座標，長方形の横幅(X)長方形の縦幅(Y)」という形で物体の種類とその座標の情報が保存される．これが YOLOv8 で機械学習に使用する学習と訓練に使用される教師データとなる．

(3) YOLOv8[9]

YOLOv8 は 2023 年 1 月に公開された YOLO モデルの最新バージョンである．YOLO モデルは数ある物体検出手法のひとつであり，物体が存在する領域の「検出」と，その領域に対する物体の「識別」を同時に行うことによる処理の高速化をコンセプトに開発された．本研究ではその処理速度と様々な事例にて用いられてきた実績を考慮し，YOLOv8 を物体検出アルゴリズムとして導入する．

物体の検出，計測の仕組みとしては，まず学習対象と類似した物体を映像内から認識した際，BBOX(物体の輪郭を囲うような長方形)を描画し，車両を計測対象として検出する．本研究ではこの状態を物体の検出(detection)と称する．このとき，検出された物体には 本章(2)教師データの作成にて前述したものと同様の座標情報が数値上で記録されており，この映像内における座標の位置関係等を条件に設定することにより，検出した物体を計測(counting)することを可能とする．本研究における計測の条件設定に関しては第 5 章交通計測の手法にて後述する．また，本研究ではCOCOから収集した画像データセットと作成したオリジナルの画像データセットを組み合わせたオリジナルモデルを用いる．

4. 分析対象となる区間の概要

対象区間は 2018 年に実施された石山通における矢羽根整備前後での定点映像のうち，南 1 条西 11 丁目の歩道及び車道の動画で検証した．**図-1** から見てわかる通り使用した動画は歩行者目線ほどの高さの画角となる．また，映像内における自転車交通流を矢羽根整備前は歩道区間と側道区間，車道区間，自転車通行時の側道付近に存在する車両の有無を判別する計測区間とし，整備後は歩道区間と矢羽根区間，車道区間，計測区間の計各 4 区間に分割した．**図-1** に AI における交通量調査に用いた断面図を示す．

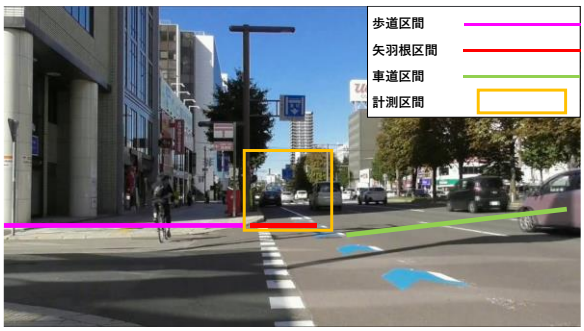


図-1 南 1 条西 11 丁目の歩道及び車道
整備前：2018 年 6 月 14 日 11 時 59 分～16 時 03 分
整備後：2018 年 9 月 19 日 11 時 04 分～15 時 01 分

5. 交通計測の手法

(1) カメラ画像における解析方法

映像内の 2 点を指定し，これを結ぶ線を計測線とする．車両が検出された際，その車両には ID が割り振られ，輪郭として長方形が描画される．この長方形の座標がこの計測線の座標を越え，なおかつ車両の ID が新規のものであるとき各車両が計測線を通過したとみなし，通過台数として計測するように設定した．

(2) 自転車通行時における交通量の計測

自転車利用者が通行区間の選択に歩行者数や車両数の影響度を調べる目的として自転車を最初に検出した時の中心座標が歩道区間の計測線のＹ座標よりも大きく，いずれかの計測線を通過した瞬間の歩行者や車両の検出数を計測した．

(3) 矢羽根上に存在する自動車の計測

矢羽根及び側道付近に存在する車両の有無に関しては自転車が計測線を通過した瞬間に，矢羽根上及び側道上に指定した計測区間において，自動車とトラックの検出の有無で判別し，計測するように設定した．

また，処理時間の削減を目的として，動画のフレームレートを半分にした動画でも計測を行った結果，計測精度を維持し，結果として分析に必要な時間が半分に削減されたため，本研究では元動画の FPS を半分にした動画を用いて解析を行った．

6. 計測結果の応用に関する考察

(1) 分析手法

本研究ではこれらの交通計測手法を用いて，2 つの手法から矢羽根整備前効果の検証を行った．

1 つ目は自転車利用者の歩道及び車道の通行区間の選択確率を推定するために自動車及びトラックの台数，歩行者数，矢羽根付近に存在する車両の有無を説明変数としたロジスティック回帰分析を行った．しかし，上記の説明変数において有意な関連性は確認できなかった．

表-2 は計測地点における側道及び矢羽根利用の遵守状況を示した結果である．動画内における各計測区間を通過した自転車総数のうち，側道区間及び矢羽根区間のみを通過した自転車台数の割合を「自転車道遵守率」と定義した．この計測結果を統計的な差異の有無について検証を行うため，t 検定を実施した．しかし，整備前後の自転車道遵守率の平均値には統計的に有意な差異は確認できなかった．

表-2 矢羽根整備前後の遵守状況

整備前			整備後		
総自転車通行台数	側道通行台数	自転車道遵守率	総自転車通行台数	矢羽根通行台数	自転車道遵守率
277	29	10.5%	453	50	12.4%

分析結果となった要因を「計測手法による要因」「データセットによる要因」「計測地点・時間帯による要因」に分類し，各要因に対する対策を後述する．

(2) 計測手法による要因の対策

計測後の動画を確認したところ，自転車通行時における矢羽根付近に存在する車両の計測誤差が特に大きいことが確認された．本研究では自転車通行時における矢羽根及び側道付近に存在する車両の有無の計測を目的として，自転車が計測線を通過した瞬間に動画内で指定した矢羽根及び側道上の領域内に自動車またはトラックの BBOX が検出された時に矢羽根及び側道付近に存在する車両として計測するように設定した．しかし，自動車が矢羽根及び側道上に停止した状態で時間が経過すると BBOX が消える傾向があり，その間に自転車が通過することが要因で，未計測となる場面が確認された．また，矢羽根区間を完全に通過した画面奥側の車両も計測することも確認された．

これらから矢羽根付近に存在する車両を計測する場合において本研究で採用した手法では適切に計測ができないことが分かった．よって，計測する指定領域の調整や BBOX の面積で走行区間を判別するなどの対策が必要であるといえる．

(3) データセットによる対策

計測後の動画から自転車の種類によって通行経路が異なる傾向にあることが確認された．シティサイクルは歩道上を通行する傾向があり，ロードバイクは矢羽根上を通行する傾向があることが分かった．よって，自転車の中でシティサイクルとロードバイクを区別して計測することが不可欠である．

この課題の対策として 2 つ挙げる．1 つ目は学習モデルの再構築が挙げられる．自転車のオリジナルデータセットの作成と同様の手順でシティサイクルとロードバイクを区別して学習させた新たなデータセットで計測を行う．

2 つ目は自転車を動画中の BBOX の移動速度でシティサイクルとロードバイクに区別する手法である．シティサイクルとロードバイクでは明らかに動画内での移動速度が異なることが分かる．よって，学習モデルの再構築は行わず，自転車として検出した BBOX の動画内での移動速度で区別し，計測する手法を提案する．これら 2 手法のいずれかを採用することにより，自転車利用者の通行経路選択における要因を自転車の車種別で分類して分析が可能になることが期待される．

(4) 計測地点・時間帯による要因の対策

カメラ画像によるデータ収集の際に 1 地点での矢羽根整備前後で自転車の交通量が多くなる時間帯の各 4 時間分の動画を使用した．整備後の動画内で自転車は 453 台通過しその間の自動車，人間，トラック，矢羽根付近の自動車の有無などの計測データを使用した．しかし，この計測データは限定された時間帯かつ地点であるため，データ数が少なく偏りが生じたと予想される．また，自転車利用者の通行経路の選択において，本研究で使用した画角外の要因も考慮に入れる必要性がある．さらに，動画の撮影地点となる札幌市石山通は自動車やトラックの交通量が非常に多く，速度も大きいという特徴がある．よって，矢羽根整備前後における自転車利用者の経路選択に差異が生じにくかったと考えられる．

これらの課題の対策を 2 つ挙げる．1 つ目は矢羽根整備前後に撮影された異なる複数の地点かつ，長時間の動画を使用することである．具体的には本研究で使用した地点での計測に加えて，札幌市内の矢羽根整備区間において比較的トラックなどの大型車両の交通量が少なく，自動車の速度も小さい地点で計測の必要性があると考える．

2 つ目は最適な画角の選定である．具体的には，本研究で使用した動画の撮影位置よりも高い位置でカメラを設置し，自転車や自動車を上から撮影した動画を使用することが望ましいと考えられる．これにより，自転車通行時の交通量をより広域的に計測することが可能になり，自転車の通行経路選択に起因すると考えられる範囲での交通量を把握し分析することができる．これら 2 つの対策により，データ数をより多く確保することができ，自転車利用者の通行経路の選択における重要な特徴量を可視化するモデル構築が可能になると考えられる．また，矢羽根整備前後における自転車道遵守率の有意な差異を得ることが期待される．

7. まとめ

本研究では，日本国内における映像の自動解析による自転車交通量調査の有用性の検討を目的に，簡易的な交通流において機械学習アルゴリズムによる新たな計測手法を適用し，その計測結果を用いて自転車利用者の通行経路選択確率における各交通量の影響度を明確にするモデル構築と矢羽根整備前後における自転車道遵守率の有意な差異の有無の検証を行った．しかし，本研究においてはどちらの検証においても有意な結果を得ることができず，その結果に至った要因となる課題点を挙げ，その対策案を示した．

自転車交通量の画像解析を用いて自転車利用者の通行経路の選択確率における各交通量の影響度に関するモデル構築で留意すべき事項は，

・ 矢羽根及び側道付近を走行または駐車している車両を計測する手法を確立する事.
・ 自転車を車種別で計測する事.
・ カメラ画像によるデータ収集の際に複数の地点かつ，時間帯で撮影された動画を用いる事.

が挙げられる．AI を用いた自動解析を自転車交通量調査及び，自転車利用者の通行経路選択確率における各交通量の影響度に関するモデル構築を行う場合，矢羽根整備前後における複数地点の選定，検証時間，カメラの設置位置，などといった環境構築を徹底することが重要である.

今後の展望として，学習モデルの再構築と矢羽根付近に存在する車両の計測手法の確立を目指すとともに，本研究では検証できなかった撮影地点と時間帯で計測を行い，自転車利用者の通行経路の選択に影響する交通量を明らかにするモデル構築を目指したい.

謝辞：

本研究は国土交通省新道路技術開発「デジタルツインによる冬期道路交通マネジメントシステムの技術開発」，また JSPS 科研費 JP23K04070 の助成を受けて実施したものである．ここに記して感謝の意を表する.

REFERENCES

1) 札幌市建設局：札幌都市部自転車通行位置の明確化の取り組み．＜自転車通行位置の明確化／札幌市 (city.sapporo.jp)＞2023 年 10 月 12 日アクセス.
2) 札幌市建設局：札幌市の自転車政策～歩行者が快適に通行できる街，景観の良い街へ～．JIC・JSCA 合同研修会 231012.
3) 阿部宏史，崎大樹，岩元浩二，冨田修一：岡山市国道 53 号における自転車道整備効果の検証．土木計画学研究・論文集，Vol26，no.4，pp.647-654.
4) 瀧本康太，高田光太，有村幹治：カメラ画像と物体検知アルゴリズムを用いた交通量調査における基礎的研究. 第 66 回土木計画学発表会・講演集.
5) 峯岸朋弥，吉田享子：物体検知・識別器による自動車交通量調査システムの試作と評価，専修ネット ワーク&インフォメーション，Vol.28，pp.53-58，2020.
6) 尾原健太郎，柳沼秀樹，寺部慎太郎，海野遥香，鈴木雄：二輪車および歩行者に対応した交通計測 AI の開発および地点別自己学習手法の提案．第 67 回土木計画学発表会・講演集.
7) COCO - Common Objects in Context https://cocodataset.org/
8) Heatex:labelImg https://github.com/heartexlabs/labelImg
9) Home - Ultralytics YOLOv8 Docs