動的な街路環境変数を考慮した自転車利用者の走行行動分析

砂田遼大[1]・大山雄己[2]

[1]非会員 芝浦工業大学 工学部土木工学科（〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5）
E-mail: mh22011@shibaura-it.ac.jp
[2]正会員 工博 芝浦工業大学准教授 工学部土木工学科（〒 135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5）
E-mail: oyama@shibaura-it.ac.jp

自転車専用道および走行帯は，歩道での歩行者の安全性が確保されるとともに，車道での自動車との接触の危険性減少に繋がり自転車利用者の安全も確保される．しかし実際には自動車の走行・駐車によって，自転車走行帯が使えずに，歩道を走行する自転車利用者も多く，歩行者の危険性を増加させている．そこで本研究では，自転車利用者の走行空間 (歩道・車道・自転車走行帯) および走行速度の選択に与える，街路の環境要因を分析し，適切な街路空間の設計・運用に関する指針を得ることを目的とする．具体的には，自転車で通勤通学する周辺住民の協力のもと，実際の走行行動を調査する．また同時に，カメラを着用し走行してもらうことで，実際の走行時の街路環境の情報を動画として記録する．これによって，地図から得られる街路の静的な属性変数のみならず，走行時の動的な属性 (路上駐車・歩行者の数や相対速度等) を画像解析技術を援用し取得することができる．この行動・環境情報をもとに自転車利用者の走行空間選択モデルを推定し，走行行動の解析を行う．

Key Words: 交通安全，自転車，走行空間選択モデル

1. はじめに

(1) 研究の背景・目的

自転車専用道および走行帯は，歩道での歩行者の安全性が確保されるとともに，車道での自転車利用者の安全も確保するための重要な道路インフラであり，歩道に依存しない自転車走行空間の整備が促進されている．しかし，日本において車道と自転車道を物理的に区切り自転車を保護した走行レーンを設置することは，街路空間の容量制約上難しい．そのため，自転車走行空間の多くは歩道内に設けられた自転車専用道や車道の一部に色をつけた自転車走行帯となっている．また，2023 年 7 月から電動キックボードに関する道路交通法が施行された．電動キックボードは車道もしくは自転車専用道及び走行帯を走行することから，多様なモビリティーが安全に走行できるような空間の整備が求められている．

近年，自転車に関する事故発生件数は減少傾向にあるものの，全交通事故に占める構成比は増加傾向にある[1)]．さらに，自転車対歩行者事故における衝突地点別でみると，43 %が歩道で発生しており，歩行者の安全は確保されていないと言える．自転車が歩道を走行する要因として，路上駐車車両や自動車の左折時の巻き込み回避が挙げられ，これが歩行者の危険性を高めている．実際に，東京 23 区の自転車走行帯 134 路線のうち，85 %にあたる 114 路線に違法駐車が確認された[2)]．このことから，設置された自転車走行帯の殆どで自転車の通行が阻害され，自転車利用者は歩道を使わざるを得ない状態にあることが考えられる．しかし，そのような実態の具体的な調査・研究や，走行空間での事象を詳細に示した調査はほとんど行われていない．

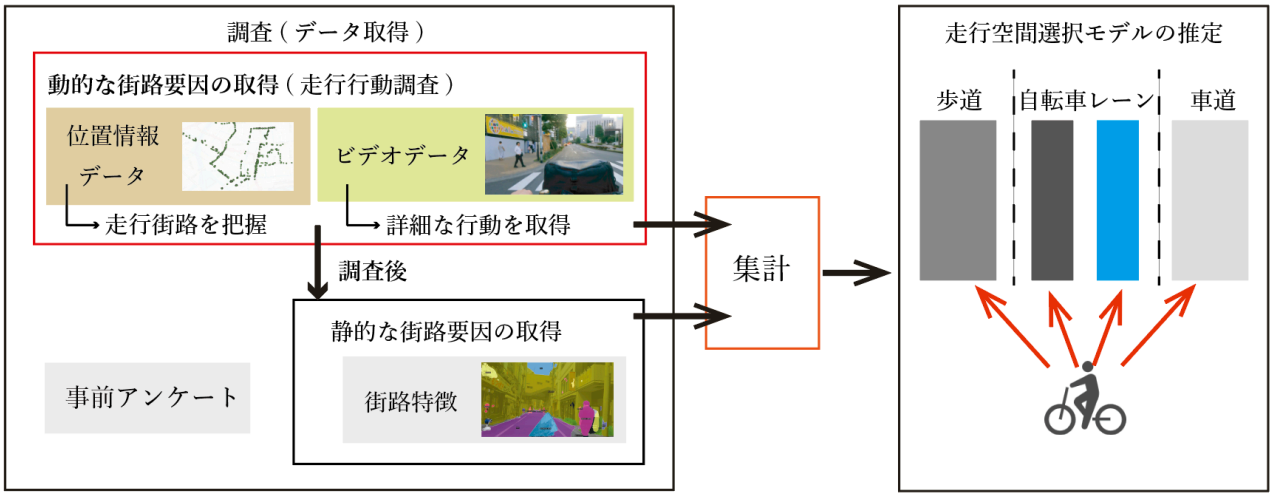
そこで本研究は，自転車利用者の詳細な行動データを明らかにし，適切な走行空間の設計・運用に関する指針を得ることを目的として，自動車や歩行者，路上駐車車両といった街路の動的な環境要因を 2 台のアクションカメラと GPS 機器からデータを取得し分析する．

(2) 研究のフレームワーク

本研究のフレームワークを図-1 に示す．はじめに，アクションカメラと GPS 機器を身に着けた調査参加者の通勤通学時の走行行動データを取得する．その後，調査で得た走行行動データをもとに，自動車や歩行者，路上駐車車両といった街路の動的な環境要因に加え，静的な環境変数として街路要因の取得を行い，走行空間選択モデルの推定を行う．

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

本章では，(1) 走行空間で自転車利用者の行動を分析した既往研究，アクションカメラを用いて自転車の行



図–1 研究フレームワーク

動に着目した既往研究の概要を述べるとともに，(2) 本研究の位置づけを示す．

(1) 既往研究

これまでにも，自転車走行に関する研究は様々な観点から行われてきた．自転車にカメラを装着し 10 地点で撮影した画像から，調査対象者に対してアンケート調査を行った Christopher et al.[3] は，アメリカにおける快適な自転車ネットワークを設計するため，自転車専用道及び走行帯の種類ごとの交差点における快適性を明らかにした．アンケートをもとに回帰分析を行った結果，道路上で完全に分離された自転車道が，利用者にとって快適な空間である一方，自動車と共有する自転車走行帯は，最も快適性が低いと結論づけた．

また，Kevin et al.[4] は，アメリカ・ミネアポリスにおいて自転車利用者に対して自転車レーンが途切れてしまう 30 区間の走行快適性をアンケート方式で収集した．30 区間を，自動車の進行方向とは逆方向に設置され消滅するもの，交差点の走行空間容量の問題で消滅するもの，住宅地の交通量の少ない場所で消滅するものに分類した．個人特性変数，2 つの個人嗜好変数，不連続性の特徴を捉えた 5 つの変数をもとに，多変量解析を行った結果，都市部に住んでいる人は自転車レーンが不連続でも気にしないことがわかった．

以上の研究では記述式調査を行っている．記述式調査は調査参加者の感覚によって評価されることが懸念され，実際の行動を直接観察することが難しい．そこで本研究では，自転車利用者が様々な環境変数を基に直感的に行動する様子を調査し，より信憑性の高い研究データを得るためにビデオデータを取得し，自転車の走行行動に関する文献を参考にした．例えば，Kashayar et al.[5] は，実際の自転車専用道の状況を模倣し乗り心地に関する実験を行った．自転車と歩行者の動作をモデル化した．

また Giacomo et al.[6] は，アクションカメラを用いて配送用自転車の行動に着目し，自転車専用レーンが充分に整備されたシアトルで，運転者が自転車専用レーンを走行しにくくなる走行空間の主な特徴が明らかにするために走行実験を行った．取得したデータを数値化し，多項ロジットモデルを用いて推定した結果，自転車専用道が段差等物理的に保護された場合は必ず使用するが，そうでない場合は走行帯の幅員によっては歩道を走行することがわかった．しかし、推定データは道路空間情報のみの静的な環境要因で，自動車，歩行者など，動的な環境要因は用いていない．以上の研究を参考に，本研究ではより詳細な走行行動として動的な環境変数を取得し分析することを目標とする．

(2) 本研究の位置づけ

これまでの研究では，様々な方法で自転車利用者の道路空間上の行動を調査・分析しているが，自転車利用者の詳細な行動を観察し，データ化したものは少ない．データ収集方法では，撮影した画像からアンケートを行った研究[3]，決められた箇所を通過した写真をもとに，アンケート方式で収集した研究[4] がある．しかし，これらの調査は実際に走行していないもの，走行後に記述式アンケートにより回答を得ているものが多く，自転車利用者の詳細な行動分析するための実走行データの収集は，これまで行われていない．

そこで本研究では，実際の走行空間で自転車利用者の詳細な走行実態の調査を行う．具体的には，調査参加者として周辺住民等に協力を得て，自宅から通勤通学の際にヘルメットと胸部に取り付けた 2 台のアクションカメラと，GPS 機器を装着してもらう．走行中のデー

タから，その状況毎に変化する他者からの影響など動的な環境要因を取得後、自転車走行レーン等の道路環境やバス停の有無，周囲の建物立地など，静的なデータを取得し組み合わせる．実際の走行において自転車利用者がどのような要因に影響されて走行空間を選択しているのか，走行空間選択モデルによって明らかにする．

3. 自転車走行調査

本章では，最初に (1) で調査概要を述べたあと，ビデオデータ，位置情報，街路特性の取得方法とその詳細を (2)，(3)，(4) に示す．

(1) 調査概要

動的な環境要因を取得し走行空間における自転車利用者の走行行動を明らかにするため，東京都江東区豊洲を終点起点とし自身が所有する自転車を使い通勤通学をする 18 歳以上の男女を対象とし調査を行った．本研究では芝浦工業大学の学生・職員から参加者を募った．

走行調査実施前に安全管理を目的とした事前アンケート調査を行った．なお，インフォームドコンセントに十分配慮するため，アンケート調査に同意事項として自転車保険に加入していること，苦痛に感じたら直ちに調査を中止できること，自宅や参加者の顔などプライバシー保護に関する情報は外部に流出しないことを確認するとともに，調査参加者の個人属性を回収した．

走行調査では，機器の取り付けによりバイアスがかかることを防ぐため，調査参加者に普段通り走行することを口頭で伝えた上で，2 台のアクションカメラ，GPS 機器とそれに付属するセンサーを体に装着した．また，機材トラブル発生を防ぐため，毎日調査に問題がないか確認を取った．走行記録として，大学やアルバイト先から自宅を最大 4 往復分 (最大 5 日間) のビデオデータと位置情報を取得した．なお，調査で取得した項目を表-2 に示す．

(2) 動的な変数の取得

動的な環境要因を調査するため，サイクルコンピュータとアクションカメラ 2 台を調査参加者に貸し出した．サイクルコンピュータは，走行中の位置情報や時刻だけでなく参加者の前輪に付属の速度センサー，サドルにケイデンスセンサーを自転車に装着することで，通常の GPS 機器では測定できない正確な速度を計測できる．

2 台のアクションカメラはそれぞれ頭部に装着する「カメラ A」と，胸部に装着する「カメラ B」とする．カメラ A は，ヘルメットの上に専用のアダプタを介し装着した．また，普段からヘルメットを着用せず自転車を利用している参加者には，安全面上ヘルメットの貸出を行った．カメラ B は，ストラップ型のアダプタを介して首に掛けるかたちで装着した．装着した様子を図-2) と，取得した写真を図-3 に示す．

表–1 取得データ一覧

使用機器	取得データ
アクションカメラ	自動車台数
	歩行者交通量
	路上駐車台数
	走行レーン
	信号無視の違反
	首振り確認
	天気
GPS 機器	位置情報
	速度 (km/h)
	ケイデンス
	時刻
道路環境	自転車レーンのタイプ
	歩道幅
	車道幅
	街路樹
	バス停
	フェンス
	リンク長

表–2 ビデオデータ取得に用いた機器と設定

アクションカメラの設定	
使用機種	Go Pro HERO9
画角	27mm
画質	1080p
フレームレート	30fps

(3) 静的な変数の取得

走行空間における静的な環境変数からの影響を取得するため，Google street view を用い道路ネットワーク情報を作成した．取得情報は街路樹や橋梁だけでなく，歩道幅員，自転車道の分類を取得することで，街路によって走行環境が異なることを確認した．



図–2 カメラ A，カメラ B，GPS 機器を装着した様子



図–3 カメラ A とカメラ B の画角比較

4. 走行空間選択モデル

(1) 意思決定ポイント

自転車利用者は，他者からの影響等を受けながら走行空間選択を行う．例えば，路上に車両が駐車していることで自転車道が塞がれているため車道を選択する行動．目的地に到着するために車道から歩道に車線を変更する行動，歩行者や自転車交通量が多く歩道から車道に車線を変更する行動などがある．走行空間の意思決定タイミングは様々あるが，本研究では走行空間を選択する意思決定ポイントを交差点などで区切られたリンクごとに定義し，動的な情報と道路ネットワークを組み合わせたデータを作成した．具体的には図-4 のように，交差点を通過直前でカメラ A または B で撮影したデータから自動車，路上駐車，自転車，歩行者の数など，走行空間のデータを取得し，数値化を行った．

(2) 選択肢集合の定義

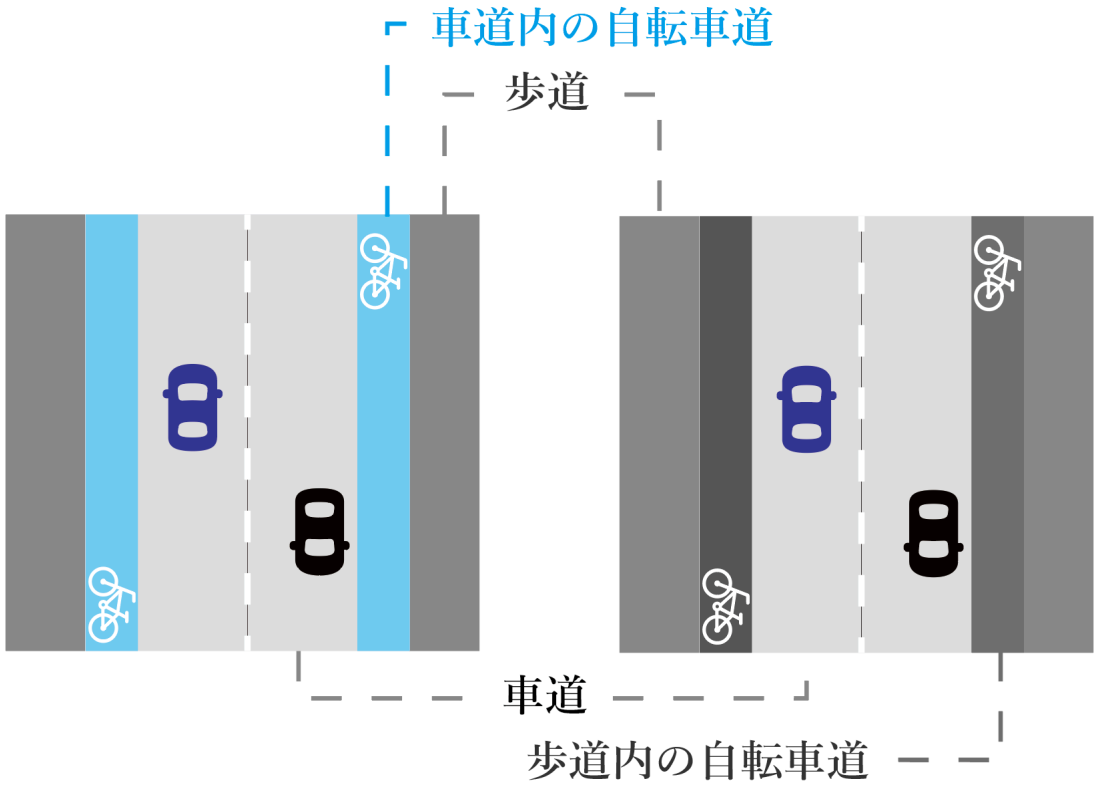
本研究では，自転車の走行空間選択行動をモデル化するために車道（LANE_1），車道内の自転車専用道（LANE_2），歩道内の自転車道（LANE_3），および歩道（LANE_4）の 4 つの選択肢を定義した．これらの選択肢に関連する変数として，動的な環境要因として駐車している車の有無，バイクの数，歩行者の数，自動車の数，速度，傾斜，および静的な環境要因として街路木の有無，ガードレールの有無，公園の有無，橋梁の有無が含まれる.5

(3) 分析手法

本研究では，多項ロジットモデルを用いて調査参加者の走行空間選択行動をモデル化した．調査参加者 n が



図–4 意思決定ポイントの図解（左）カメラ B からの視点（右）



図–5 自転車が選択する走行空間

走行空間 i を選択する確率は以下のように定義される．

$$P_i = \frac{e^{V_i}}{\sum_{k=1}^{J} e^{V_k}} \tag{1}$$

ここで、

- V_i は選択肢 i の効用関数
- J は選択肢の総数

である．

5. 期待される結果

今後は本研究で定義した走行空間選択モデルを用いて，自転車利用者の行動を明らかにする．具体的に，4.1 節で述べた意思決定ポイントでの選択行動だけでなく，仮説から細かな変数を取得する．以下にその例を示す．

- 段差のある歩道を通過することは好まないため，車道を走行する．
- 車道を走行している際，左右を確認したあと自動車用の信号を無視する．
- 自転車専用道を走行する際，反対側から来た自転車を回避するために歩道に入る
- 車道を走行している際，違法駐車があると迂回するが，歩道に変わることが容易であれば，歩道に変更する．
- 通勤通学で使用する人は，家から勤務地まで行く際走行するレーン選択に関係なく速い．
- 夜は人通りが少ない場合，歩道のほうが好まれる

また，調査協力者は学生かつ男性が多いため，今後は様々な年代の男女からのデータの収集を行う．

参考文献

1) 内閣府: 「道路交通安全政策の新展開」ー第 11 次交通安全基本計画による対策ー　第 2 章　近年の道路交通事故の状況　第 3 節　歩行者及び自転車の交通事故の傾向, **令和 *3* 年交通安全白書**, 2021 年.
2) NHK 首都圏ナビ: 「自転車専用通行帯」東京 23 区で 134 路線整備も 8 割余に違法駐車.
3) Monsere, C. M., McNeil, N. W., and Sanders, R. L.: User-rated comfort and preference of separated bike lane intersection designs, *Transportation Research Record*, Vol.2674, No.9, pp.216–229, 2020.
4) Krizek, K. J. and Roland, R. W.: What is at the end of the road? understanding discontinuities of on-street bicycle lanes in urban settings, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.10, No.1, pp.55–68, 2005.
5) Kazemzadeh, K. and Bansal, P.: Electric bike navigation comfort in pedestrian crowds, *Sustainable Cities and Society*, Vol.69, pp.102841, 2021.
6) Giacomo and Donnelly, G.: How cargo cycle drivers use the urban transport infrastructure, *Transportation Research Part A*, Vol.167, pp.103562, 2023.