

運転挙動と視線計測による自転車の運転特性分析

Analysis of Cycling Behavior Characteristics Using Driving Behavior and Eye-tracking Data

小林 純輝[†]

Atsuki Kobayashi

奥出 真理子[†]

Mariko Okude

1. はじめに

自転車や電動キックボードに代表されるパーソナルモビリティは、都市内移動の利便性の向上および環境負荷の低減を目的として、その利用が拡大している。2023年7月の道路交通法改正において、運転免許を必要としない「特定小型原動機付自転車」という新たな車両区分が新設された。しかしながら、交通事故全体に占める自転車関連事故の割合は23.3%に達しており[1]、さらに電動キックボードの普及に伴い、関連事故件数も増加傾向にある。このような状況は、都市交通における新たなリスクとして、パーソナルモビリティの安全対策の強化が課題となっている。車両の安全通行に関する研究は、主に自動車を対象として進められており、自転車や特定小型原動機付自転車に関しては、依然として多くの課題が残されている。近年では、モーションセンサの小型化・低価格化、スマートフォンへの標準搭載が進んでおり、これらの簡易センサを活用したパーソナルモビリティの安全走行に関する研究の進展が期待される。

本研究では、パーソナルモビリティの安全な利用を促進することを目的として、自転車走行に着目し、簡易センサを活用することで自転車利用者の運転傾向や癖といった自転車運転特性の把握を試みる。

2. 先行研究

先行研究において、加速度センサ及びジャイロセンサを用いることで、自転車走行の挙動を検出可能であることが示されている[2][3]。また、運転者の特性に注目した研究[4]では、アイマークレコーダおよび自動車運転適性診断心理を用いた分析により、危険運転傾向のある自転車利用者は、特定の方向を注視しやすい傾向があることが明らかにされている。

パーソナルモビリティの安全な利用を実現するには、危険運転リスクを有する利用者が示す運転特性を明確に把握することが重要である。しかしながら、先行研究においては、運転特性とそれに起因する危険運転リスクとの関連性については十分に明らかにされていない。そこで本研究では、スマートフォン等に搭載されたGPSや加速度センサといった簡易センサを活用し、自転車走行中のデータを取得することで、自転車の運転特性を把握する手法を構築し、その実現可能性を検証することを目的とする。

3. 研究アプローチ

走行中の運転特性を把握するために、本研究ではスマートフォンに搭載された加速度センサ、方位センサ、および高精度衛星測位(RTK-GNSS:Real Time Kinematic - Global Navigation Satellite System)を用いて自転車の走行データを取得する。また、自転車運転者の挙動については、先行研究[4]に基づき視線移動計測を用いて分析する。さらに、こ

れらセンサデータに加えてアンケートを実施し、自転車運転についての危険意識を集計する。自転車の運転特性の分析手順を以下に示す。

- 1) 走行データのサンプリング：位置情報にセンサデータ(加速度、方位、視線移動)を対応づけ、特定の位置に対応する走行データを抽出する。
- 2) 特性空間の構成：運転特性の分類に有効な指標を特定し、それらを用いて運転特性空間を構成し、運転者の運転特性を分類する。
- 3) 危険意識との関連分析：アンケート調査に基づき、運転者の危険意識と運転特性の関連を検討する。

4. 走行実験

自転車走行データを収集するため、以下の被験者実験を行う。なお、本実験は、茨城工業高等専門学校における人を対象とする研究に関する倫理規則に従い、十分な安全と個人情報管理のもと実施する。

4.1 走行実験の概要

本実験では、15名(17~22歳、男11名、女4名)の被験者を対象に自転車走行データを収集する。実験は、校内に設定した約360mの周回コース上で実施(図1)し、被験者には当該コースを5周走行してもらう。データ取得は、スマートフォンを自転車ハンドル中央部に取り付け(図2)、データ取得アプリ AndroSensor を用いて加速度データを取得する。また、自転車カゴ内に RTK-GNSS レシーバを設置し(図2)、位置データ取得アプリ Drogger-GPS を用いて走行中の位置情報を取得する。さらに、被験者には眼鏡型の視線計測装置 JINS MEME を装着してもらい、走行中の視線移動を記録する。視線計測装置は、眼電位センシングに基づき、視線移動の有無およびその方向を検出する機能を有している。



図1 実験コース



図2 センサの取り付け

4.2 走行データのサンプリング

被験者ごとに走行時間や速度が異なることから、データ間の整合性をもたせるために、コース上に約1m間隔で観測点を設定する。各観測点に対して、各走行データ(トリップ)の位置情報を対応づけ、各センサデータを当該観測点における代表値としてサンプリングを行う。観測点の位置は、実験場所周辺の既知の経緯度情報に基づき定義する。

[†]茨城工業高等専門学校 National Institute of Technology, Ibaraki College

4.3 加速度センサによる車両挙動の分析

加速度センサを用いて各トリップ中の X 軸(左右方向)・Y 軸(進行方向)の加速度を取得し、車両の挙動を分析する。分析には 2 軸加速度の二乗平均平方根(Root Mean Square : RMS)値を用い、各フレームにおける加速度の RMS 値 ACC_i を式(1)により算出する。各トリップにおける加速度の指標としては、 ACC_i の平均値を用いる。

$$ACC_i = \sqrt{(x_i^2 + y_i^2) / 2} \quad (1)$$

x_i, y_i : i 番目の X 軸・Y 軸加速度

4.4 方位センサによるハンドル操作の分析

方位センサを用いて被験者のハンドルの動きを分析する。本実験では高精度かつ安定した計測のため、RTK-GNSS による方位センサを採用する。各フレームにおける真北に対するハンドル操作の移動角度 θ_i は、式(2)により算出する。また、各トリップにおけるハンドル操作の指標として、 θ_i の分散値を用いる。

$$\theta_i = |(\alpha_i + 180) \bmod 360 - 180| \quad (2)$$

α_i : i 番目の方位角

4.5 視線移動の分析

センサから得られる上下左右の 4 方向における視線移動およびその移動量を分析する。視線移動の大きさは、0(移動なし)から 7(特大の移動)までの 8 段階で定量化されている。各フレームにおける視線移動 $MOVE_i$ は式(3)により求められる。各トリップの視線移動の指標としては、 $MOVE_i$ の平均値を用いる。

$$MOVE_i = \text{Max}(U_i, D_i, L_i, R_i) \quad (3)$$

U_i, D_i, L_i, R_i : i 番目の上下左右方向の視線の移動量

5. アンケート調査

走行実験の被験者に対し、自転車運転中の危険行動に関するアンケートを実施する。質問項目は、自転車利用者のリスク認知と交通ルール遵守の関係について示した先行研究[5]を参考に設定した。具体的には、“夜間の無灯火走行”や、“他の自転車との並走”など、13 項目の危険行動についての意識を尋ねる。各被験者には、各項目に対し、1 : いつも行っている、2 : だいたい行っている、3 : だいたい行っていない、4 : いつも行っていない、の 4 段階で評定を求めた。すなわち、評定値が高いほど安全を意味する。

6. 実験結果

6.1 運転特性空間

本実験から得られた計測不良を除く 73 周回分の走行データ(73 トリップ)を対象に、車両挙動、ハンドル操作ならびに視線移動に関する分析を行った。その結果、以下 3 つの指標においてセンサデータに差異が見られたことから、これらの指標を軸として運転特性空間を構成した。

第 1 軸 : 2 軸加速度 RMS の平均値

第 2 軸 : 直進走行におけるハンドルの移動角度の分散値

第 3 軸 : 視線移動量の平均値

6.2 運転特性の分類

運転特性空間において、各トリップの指標値(以下、特性点)をプロットした。それらを正規化した値に対して k-means 法によるクラスタリングを実施した。その結果を図 3 に示す。クラスタ数は、シルエット係数を参考に 4 に設定した。図中の×印は、各クラスタの重心を示している。クラスタ 0 はハンドルの変動が大きい群、クラスタ 1 は視線移動量と加減速の両指標が高い群、クラスタ 2 は加減速

および視線の移動量の両指標が高い群、クラスタ 3 はすべての指標値が相対的に低い群として分類された。

さらに、アンケートから集計した危険行動意識では、クラスタ 1 の平均値が 3.65 と最も高い評定値となった。そこで、クラスタ 1 の運転挙動について詳細に調べたところカーブ走行中のハンドルの角速度が低い傾向が見られた。

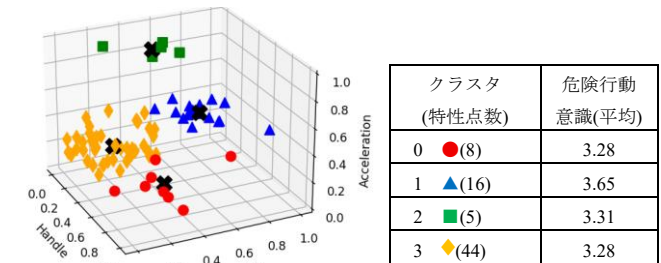


図 3 運転特性空間と特性点の分類結果

7. 考察

スマートフォンに搭載された加速度センサ、方位センサおよび視線移動計測を用いた自転車の走行データから、車両挙動、ハンドル操作、視線移動を分析した結果、走行中の視線移動量の平均値、直進走行におけるハンドル移動角度の分散値、2 軸加速度 RMS の平均値、の 3 つの指標で運転特性を抽出することができ、それらの特性は 4 つのクラスタに分類可能であることが確認できた。そのうちの一つがアンケートで得られた運転者の危険意識に対応していることから運転特性を明らかにすることは危険運転の要因解明につながると考えられる。また、本研究で構成した運転特性空間では、直進走行時のハンドル操作を指標の一つとして採用したが、クラスタ 1 においてはカーブ走行時のハンドル操作に特徴が認められた。このことから、カーブ走行においては直進方向とは異なる指標を用いる必要があると考える。

8. おわりに

自転車の運転特性を把握するための手法として、スマートフォンに搭載された加速度センサなどの簡易センサに加え視線移動計測を用い、自転車走行中の加減速の大きさ、ハンドル操作量および視線移動量の 3 つの指標に基づく運転特性空間を構成した。その結果、自転車の運転特性が把握できる見通しを得た。今後は、被験者数および実験環境の拡充により精度の高い手法開発に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 警察庁, “自転車関連交通事故の状況”, <https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/bicycle/kentokai/01/siryou07.pdf> (最終確認 2025 年 6 月 12 日)
- [2] 宇佐見友理, 石川和明, 高山敏典, 柳澤政生, 戸川望, “スマートフォン搭載 3 軸加速度センサと 3 軸ジャイロセンサを用いた自転車の挙動認識”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, pp.32-42(2018)
- [3] 村上智幸, 藤村嘉一, 半谷精一郎, “ジャイロセンサと速度センサによる自転車の挙動推定に関する一検討”, 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.113, No.337, pp. 67-72(2013)
- [4] 小山裕也, 宮下清栄, “自転車利用者の注視挙動と運転者の性格との関連性について”, 土木計画学研究発表会・講演集 2011 年第 44 回, No.81(2011)
- [5] 水子学, 高尾堅司, 金光義弘, “自転車走行中の違反あるいは危険行為に対するリスク認知”, 日本心理学会大会発表論文集/日本心理学会第 76 回大会(2012)