

# 足元映像からのペダル操作推定と運転意図推定のための分析 (2022年8月12日版)

助川 拓哉<sup>1,a)</sup> 橋本 康弘 畠 圭佑

**概要:** 近年、プローブ技術の発達により車載センサーを活用した環境情報の取得は容易になり、自動車の運転に関する様々なデータ解析を行うことが可能になった。本報告では大学内で運用した学生向けカーシェアリングサービスの走行データを用いて、アクセルペダルとブレーキペダルの映像から運転中の足の位置を追跡する。これにより、実際のアクセル・ブレーキ操作データからは得られない、ドライバーの準備的な行動、運転意図の推定を試みる。

## Analysis for pedal operation estimation and driving intention estimation from foot video (version 2022/8/12)

TAKUYA SUKEGAWA<sup>1,a)</sup> YASUHIRO HASHIMOTO KEISUKE HATA

**Abstract:** In recent years, it has become easier to collect information from in-vehicle sensors using probe information systems, making it possible to acquire information on the accelerator pedal, brake pedal, and steering wheel operation amount. In this report, we track the position of the driver's foot during driving from video images of the accelerator pedal and brake pedal using driving data from a car sharing service for students operated in a university. By doing so, we attempt to estimate the driver's preliminary behavior and driving intention, which cannot be obtained from the actual acceleration and brake operation data.

### 1. はじめに

近年、交通事故は減少傾向にあるものの、2019年度は約38万件的な交通事故が発生している。[1] 行動類型別で見ると、直線走行時が約47%を占めている。また、法令違反別の交通事故状況では、安全不確認が31.9%を占めている。[2] これらの課題に対して、プローブ情報システムを用いた交通事故削減のためのアプローチが取られてきた。プローブ情報システムとは、自動車が搭載するセンサー情報の収集を可能にするシステムである。[3] そして車両より収集したデータから運転行動信号処理 [4] に基づく、自動車の運転に関する様々なデータ解析を行うことが可能になった。例

えば、宮島らは、ドライブレコーダーを用いたブレーキペダル操作、アクセルペダル操作、ハンドル操作に関するドライバー評価手法を提案している。[5] その中で、ブレーキペダル操作については、LBGアルゴリズムに基づく操作パターンのクラスタリングを行った。アクセルペダル操作については、1分毎の最大前方加速度とその時の速度の関係を直線で近似した。ハンドル操作については、道路の設計速度に応じて設定された最小曲率半径に対して、実際のドライバーがとったステアリング操作から曲率半径を算出し、急ハンドルを検出する方法を提案した。

これまでの研究では、ドライビングシミュレーターやテストコースを使用する研究が多くみられた。これらの手法は実験条件の再現性が高いなどの長所があるが、実際の道路環境を完全に再現することが困難であることや、実験に参加する被験者の数を十分に用意することが難しいという短所もある。近年では、実際にテレマティクス機器を搭載

<sup>1</sup> 会津大学大学院コンピュータ理工学研究科  
Graduate School of Computer Science and Engineering,  
University of Aizu, Aizuwakamatsu, Fukushima 965-8580,  
Japan

<sup>a)</sup> m5261165@u-aizu.ac.jp

した車両を使用するシェアカーから収集したデータを元にした研究も行われ始めている。[6] 本報告では、こうした実際の道路上での運転動作を記録したシェアカーのデータを用いて、ドライバーの意図を推測する方法を検討する。

本報告の構成を以下に示す。第2章では、関連研究と本取り組みの位置付けについて説明する。第3章では解析データと前処理について説明する。第4章では、足元映像からのペダル操作の推定について説明する。第5章では、ペダル操作推定結果からドライバーの運転意図の推測に繋がる分析を行う。第6章では、まとめを述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 運転意図の検出に関する研究

運転支援システムや交通安全などの予防安全の観点から運転意図の認識は必要不可欠な技術として位置付けられ、ドライバーの運転意図を認識するためのモデル、アルゴリズムの構築は長らく様々な研究が行われてきた。2000年代初頭には、ファジィ連想記憶システムに基づく事例ベース学習でドライバーの運転意図を認識するモデルが考案された。[7] 文献 [7] では、検出された人間の動作、車の速度、車と交差点の距離に関するデータを用いて、運転者がハンドルを切る前などの早い段階で運転意図を認識することが可能となった。文献 [8] は、交差点の旋回行動に対するファジィ論理モデルと、車の追従行動に対するギブスモデルの組み合わせに基づいてドライバーの行動モデルを明示的に定式化することで、ドライバーの運転意図の予測に活用できることを示した。

2000年代後半から2010年代初頭にかけては、隠れマルコフモデルやベイジアンネットワークを用いたアプローチが考案された。[10–13] 文献 [10] では、オプティカルフローに基づく足元動作の解析と隠れマルコフモデルを用いて、足元動作の状態推定とペダルの踏み込み量予測を行った。実験の結果、実際にペダルを踏み込む133ms前までに74%のペダルの踏み込みを予測することができた。文献 [11] [12] は、車載センサーから車線変更や旋回などの特定の操作を隠れマルコフモデルを用いて早期に推論するシステムを提案した。文献 [13] は、道路交差点におけるドライバーの意図する操縦を推定する問題に取り組み、車両の挙動と、道路交差点の地形的特性に関する情報を組み合わせたベイジアンネットワークを提案した。

近年では、自動緊急ブレーキシステムのための運転意図検出アルゴリズムが提案されている。[9] 文献 [9] の提案したアルゴリズムでは、歩行者の位置とドライバーの視線パターンを基に、自動緊急ブレーキシステムの発する歩行者との接近による警告の64%において、ドライバーの制動意思を分類することに成功している。



図1 実験車両



図2 足元映像



図3 走行データ。会津若松市中心部。緑色の点は被験者が実際に運転した位置を示す。

### 2.2 本取り組みの位置付け

本報告は、足元映像の解析に基づく、ドライバーの運転意図の検出に繋がる特徴を抽出することを目的とする。文献 [10] のような映像による足元行動の分析に関する研究は非常に少ないのが現状である。実験では、解析データに対して足元映像からペダル操作を推定し、ドライバー、時間帯ごとに分けてペダルの踏み込み、踏み替えやペダルに足を添える動作について解析し、ドライバーの運転意図の推定に繋がる特徴の調査を行う。

### 3. 実験方法

#### 3.1 被験者

会津大学内では、2019年12月から2022年2月まで、アルプスアルパイン株式会社の協力のもと、次世代のモビリティサービスを創出するための実証実験として、学生向けカーシェアリングサービスを運用した。ユーザー登録を行なった学生は、被験者としてカーシェアリングサービスを利用する。登録された被験者はスマートフォンアプリによって利用したい時間を事前に予約し、その予約した時間内で利用する。運転する時間や目的、経路の選択などは被験者の自由意志に任せられる。本報告では、カーシェアリングサービスに登録した学生の内、運転歴が5年以内の38名の学生を被験者とした。38名の被験者について、年齢層は19歳～24歳、そのうち男性が32名で女性が6名であった。被験者には研究参加におけるリスクなどを十分に説明した上で、公立大学法人会津大学研究倫理審査委員会の承認を得ている。

#### 3.2 実験車両

セダンタイプの4人乗り乗用車を実験車両(図1)として使用した。実験車両から取得できるデータは、アクセルおよびブレーキペダル操作量やステアリング操舵角、速度などを記録したCANデータと位置情報を記録するためのGPSデータである。さらに、車内環境情報として温湿度や二酸化炭素データが記録される。カメラは車内にフロントカメラ、フェイスカメラ、フットカメラ、フロントシートカメラ、リアシートカメラを含む5台が設置されている。全てのカメラは640×480ピクセルの画素数で15FPSにより記録される。本研究では、CANデータにおけるステアリング操舵角、速度データおよびGPSによる位置データと自動車の進行方向を撮影するフロントカメラ映像(図2)を使用する。

#### 3.3 前処理

本報告では、2020年4月から2021年11月の間にシェアカーを利用した、合計817トリップのデータを実験に使用する。解析には、会津若松市内を午前7時から午後4時の間に走行したデータを用いる。(図3)

### 4. 足元映像によるペダル操作推定モデルの構築

足元映像によるペダル操作推定モデルの利点は、CANデータのペダル操作量では取得することの出来ない予備動作を取得出来る点にある。ここで予備動作とは、ドライバーが操作を行う前に準備を行う動作を指す。一般的に自動車の運転では、アクセル操作とブレーキ操作のみで運転をす

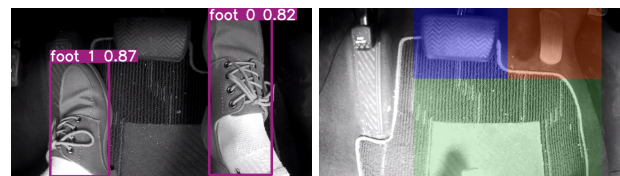


図4 足検出

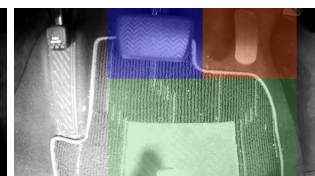


図5 操作領域

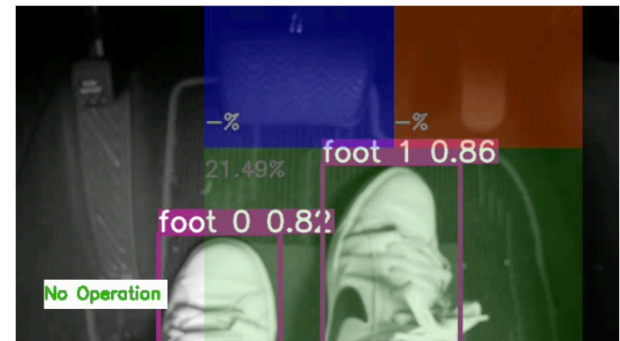


図6 無操作

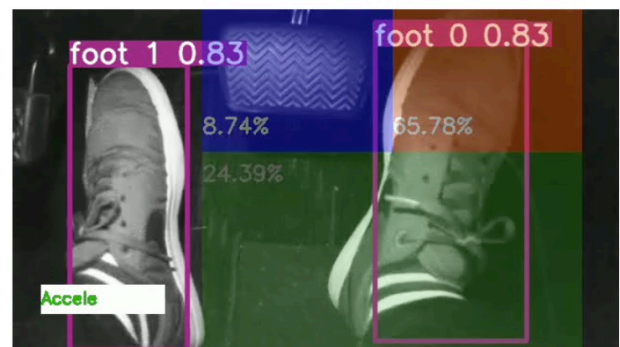


図7 アクセル操作

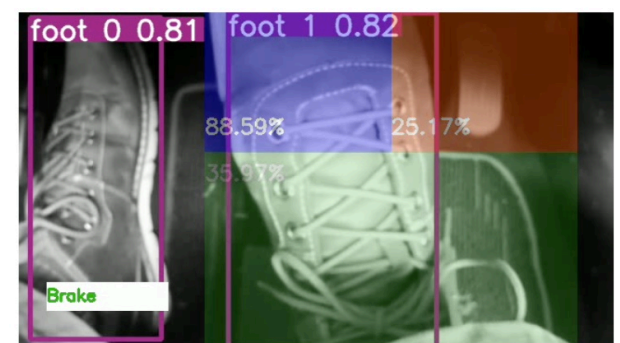


図8 ブレーキ操作

ることは少なく、パーシャルスロットルのような殆どペダル操作を行わない場面やドライバーが前方に停止車両を捕捉した時にブレーキに足を添える場面などがある。このような場面では、操作量が少ないためドライバーの挙動を読み取ることが難しい。

#### 4.1 足検知モデルの構築

ここでは、足を認識する画像認識モデルについて説明する。本実験で使用する車両には、アクセルペダルとブレーキペダルを画角に収めるカメラが足元に設置されている。(図

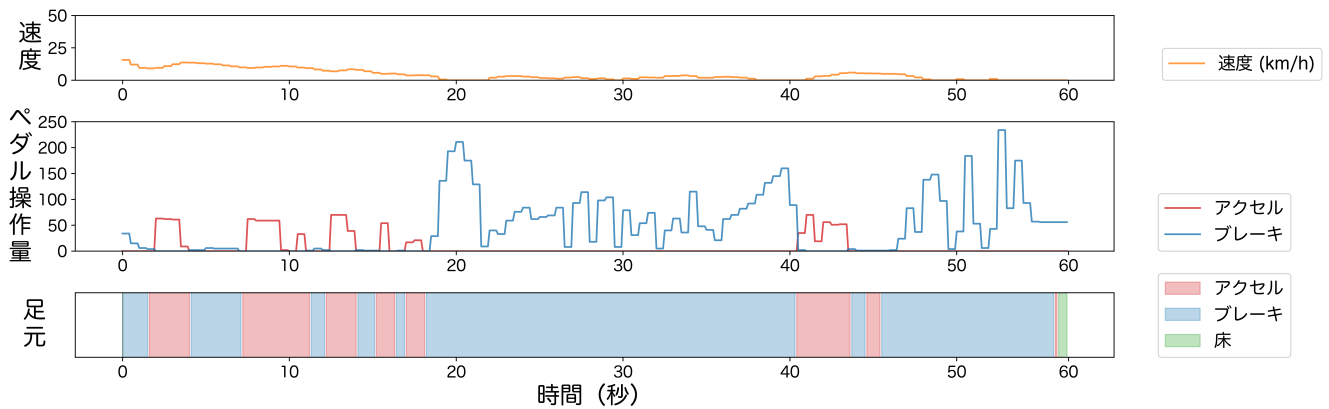


図 9 足元映像によるペダル操作推定結果と CAN データ上のペダル操作量との比較

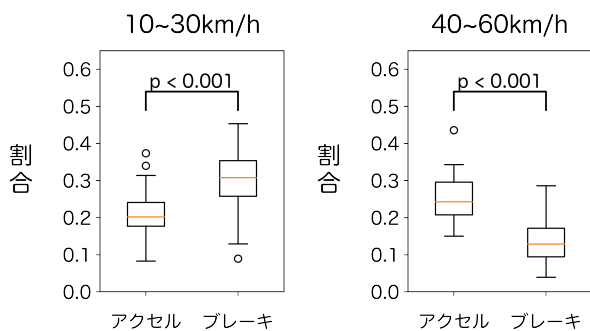


図 10 全操作におけるペダルに足に添えている時間の割合の比較 (速度別)



図 11 会津若松市における速度のヒートマップ

2) カメラの設置場所から本研究では、足すなわち靴を認識する、YOLOv5 [14] を拡張したカスタムモデルを構築した。実験には用いない期間に収集された足元映像から様々な種類の靴と明暗の異なる画像を 500 枚用意し、転移学習を行った。図 4 では、検出された靴が紫色のバウンディングボックスで示されており、右側の小数の数字が靴としての信頼度を示している。

#### 4.2 検出領域による足元の操作推定

足検知モデルより得られたバウンディングボックスの位置から操作の推定を行う。あらかじめ足元映像の画面領域に対して、それぞれの操作を割り当てる。図 5 は赤色の領域がアクセル、青色の領域がブレーキ、緑色の領域が無操作を示している。検出されたバウンディングボックスとそれぞれの領域が重なった割合を計算し、最もバウンディングボックスと重なっている領域をその時点での操作とみなす。ただし無操作に関しては、アクセル領域とブレーキ領域それぞれのバウンディングボックスとの専有率が低い時のみ無操作と判定する。

### 5. 足元映像によるペダル操作推定と分析

#### 5.1 足元映像によるペダル操作推定結果と CAN データ上のペダル操作量との比較

図 9 は、駐車場内を走行後に駐車する 60 秒間の場面に対して、足元映像によるペダル操作の推定結果と CAN データ上のペダル操作量を比較したものである。3 段あるグラフのうち、上段から速度、ペダル操作量、足元のドライバーの足が置かれている場所をプロットしている。10 秒から 20 秒にかけては、ペダルの踏み替えが頻繁に行われており、20 秒から 40 秒にかけては、ブレーキに足を添える形で操作が行われている。高い精度で、ペダル操作を読み取ることが出来ており、一つ一つのペダル操作も一連の足元の動きから直前の操作と関連付けることが出来ることが読み取れる。

#### 5.2 全操作におけるペダルに足に添えている時間の割合の比較

##### 5.2.1 速度ごとの比較

図 10 は、2 つの速度群に分けたときのペダルに足に添えている (踏んでいない) 時間を全体の操作時間を分母にした割合を算出したものである。10km/h 以上 30km/h 以下の速

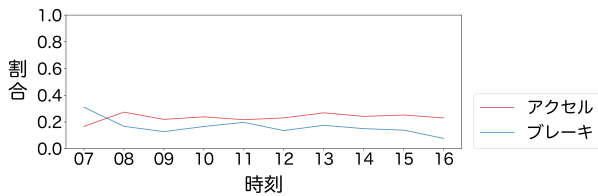


図 12 全操作におけるペダルに足に添えている時間の割合の比較 (時間帯別)

度群では、アクセルペダルよりもブレーキペダルに足を添えている時間が長かった。一方で 40km/h 以上 60km/h 以下の速度群では、ブレーキペダルよりもアクセルペダルに足を添えている時間が長かった。この結果から速度域の違いによりペダル操作が変化していることがわかる。図 11 は、会津若松市内において実験車両が記録した速度のヒートマップである。市街地では、30 km/h 前後の走行が目立つが郊外や幹線道路では、60km/h 前後の走行が多く記録された。図 10, 図 11 の結果をまとめると、10km/h 以上 30km/h 以下の速度群は市街地での走行で多く見られ、加減速の頻発する場面でブレーキペダルに足を添える動作が増加したと考えられる。一方で 40km/h 以上 60km/h 以下の速度群は郊外や幹線道路で多く見られ、速度コントロールが主なタスクであるような場面では、アクセルペダルに足を添える動作が増加したと考えられる。

### 5.2.2 時間帯ごとの比較

図 11 は、全レコードのうち速度が 40km/h 以上 60km/h 以下のデータを午前 7 時から午後 16 時まで 1 時間ごとに取り出し、ペダルに足に添えている時間を全体の操作時間を分母にした割合を算出したものである。赤色の線と青色の線はそれぞれ、足をアクセルペダルに添えている時間の割合とブレーキペダルに添えている時間の割合を示している。午前 7 時頃にはブレーキに足を添えている割合が 3 割弱を占めているが、それ以降はアクセルに足を添えている割合が、ブレーキに足を添えている割合を超えた結果となった。ペダルに足を添えるような予備動作の頻度の変化を捉えることを目的に、時間帯ごとの比較を行ったが顕著な変化は特に見られなかった。

## 6. まとめ

本報告では、ドライバーの運転意図の推定に繋がる特徴の調査を目的に、アクセルペダルとブレーキペダルを画角に収める車載カメラから足元のペダル操作を推定し分析を行った。足元映像によるペダル操作推定と CAN データ上のペダル操作量の比較を行った結果、ペダル操作量から取得することの出来ないペダルの踏み替え操作を明らかにすることができた。また、ペダルを踏まずに足を添えた操作の割合を速度別に比較を行った結果、速度の低い状態ではブレーキペダルに足を添える操作が多く見られ、速度が上昇するとアクセルペダルに足を添える操作が増加した。加減

速の多い低速域の走行と速度調節などが主なタスクになる高速域での走行で足元の操作に変化が起きていることを示すことができた。時間帯ごとにペダルを足を添える動作の割合の比較を行ったが変化は現れなかった。

今回の実験から、ペダルに足を添える予備動作はドライバーの意図を含むような操作が見られることが明らかになった。特にこれまでは認知・判断・操作のプロセスの中でペダル操作量で操作の部分までしか捉えることが出来なかったが、足元の動きに着目することで操作に至る前の判断のプロセスを捉えることが可能になった。今後は足元の動き方による判断の種類、パターンなどを明らかにしていきたい。

**謝辞** 本研究にあたり、アルプスアルパイン (株) には車両準備やサービス運営などの研究環境構築をはじめ、多大なご支援をいただいた。ここに深く感謝申し上げる。

## 参考文献

- [1] 警察庁.(2020). 令和 2 年中の交通事故の発生状況 [PDF File].2. <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000032051870fileKind=2>
- [2] 公益財団法人交通事故総合分析センター.(2019). 交通統計 令和元年度 [PDF File].58. <https://www.itarda.or.jp/contents/9286/download>
- [3] 植原啓介.(2010). センシングネットワーク: 5. プローブ情報システム: 車載センサを活用した環境情報の取得. 情報処理, 51(9), 1144-1149.
- [4] 宮島千代美, 武田一哉.(2011). 運転行動信号処理の現状と展望 (特集) 運転行動信号処理. システム/制御/情報, 55(1), 2-7.
- [5] Miyajima, C., Ukai, H., Naito, A., Amata, H., Kitaoka, N., Takeda, K. (2011, May). Driver risk evaluation based on acceleration, deceleration, and steering behavior. In 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 1829-1832). IEEE.
- [6] 佐瀬凌太, 藤本まなと, 諏訪博彦, 安本慶一.(2021). 乗り捨て型カーシェアの利用効率向上のための車両再配置手法. 2021 年度 情報処理学会関西支部 支部大会 講演論文集, 2021.
- [7] Ohashi, L., Yamaguchi, T., Tamai, I. (2004, August). Humane automotive system using driver intention recognition. In SICE 2004 Annual Conference (Vol. 2, pp. 1164-1167). IEEE.
- [8] Lidstrom, K., Larsson, T. (2008, October). Model-based estimation of driver intentions using particle filtering. In 2008 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 1177-1182). IEEE.
- [9] Diederichs, F., Schüttke, T., Spath, D. (2015, September). Driver intention algorithm for pedestrian protection and automated emergency braking systems. In 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 1049-1054). IEEE.
- [10] Tran, C., Doshi, A., Trivedi, M. M. (2012). Modeling and prediction of driver behavior by foot gesture analysis. Computer Vision and Image Understanding, 116(3), 435-445.
- [11] Berndt, H., Emmert, J., Dietmayer, K. (2008, October). Continuous driver intention recognition with hidden markov models. In 2008 11th International IEEE

- Conference on Intelligent Transportation Systems (pp. 1189-1194). IEEE.
- [12] Berndt, H., Dietmayer, K. (2009, November). Driver intention inference with vehicle onboard sensors. In 2009 IEEE international conference on vehicular electronics and safety (ICVES) (pp. 102-107). IEEE.
- [13] Lefèvre, S., Laugier, C., Ibañez-Guzmán, J. (2011, June). Exploiting map information for driver intention estimation at road intersections. In 2011 IEEE intelligent vehicles symposium (iv) (pp. 583-588). IEEE.
- [14] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779-788).