

交差点運転行動に基づいた焦り運転検知手法の検討

王 タンニー*¹ 閑 絵里子*¹ 塚本 哲也*¹ 岡部 浩史*¹ 廣嶋 衛大*² 多田 昌裕*³

オムロンソーシアルソリューションズ株式会社*¹

近畿大学大学院総合理工学研究科*²

近畿大学理工学部情報学科*³

負の感情は人間の行動に悪影響を与えるものであり、自動車運転時に負の感情が発生した場合、普段通りの運転ができず事故リスクが高まるとされている。社有車ドライバー25名を対象に調査を行い、負の感情のうち焦りの感情が最も多く発生すること、焦りの感情が発生した時は速度超過や急加減速等の危険運転が約4倍になることを確認した。そこで本研究では、画像処理型センサ等で捉えた交差点での運転行動に着目し、焦り運転を検知することを試みた。感情アンケートを真値として検証した結果、焦りが運転行動に表れるドライバーに対して、提案手法の有用性を確認した。

A Study of Detecting Driving in a Hurry based on Driving Behavior at Intersections

Danni Wang*¹ Eriko Kan*¹ Tetsuya Tsukamoto*¹ Hiroshi Okabe*¹ Eidai Hiroshima*² Masahiro Tada*³

OMRON Social Solutions Co., Ltd.*¹

Graduate School of Science and Engineering, Kindai University*²

Department of Informatics, Faculty of Science and Engineering, Kindai University*³

Negative emotions are known to affect one's behavior in a negative way. Motor vehicle drivers are more prone to accidents when they feel negative emotions and fail to perform as usual. Based on the results from a survey conducted on 25 company car drivers, among other negative emotions, feeling in a hurry happens the most frequently while behind the wheel. Furthermore, when drivers feel in a hurry, dangerous driving behavior such as speeding, hard braking and acceleration, etc., are about four times as likely to be observed. This study aims at detecting driving in a hurry based on driving behavior at intersections that are captured by vision-based and also other kinds of sensors. Practicality of the approach, regarding drivers that show changed behavior when in a hurry, is demonstrated through verification against self-report ground truth from the stated survey.

Keyword: *driving in a hurry, driver monitoring, intersection scanning*

1. はじめに

1-1 感情と危険運転

自動車ドライバーの運転行動は諸要因により常に変化するものである。ドライバー自身に起因する変化には、運転スキルの上達や認知機能の衰えによる悪化といった長期的で不可逆な変化と、感情の抑揚による一時的逸脱といった短期的で制御可能な変化がある。後者において特に危険運転につながりやすい感情は負の感情である。負の感情はヒューマンエラーの発生頻度と関連しており[1]、例えば急ぎや焦りなどの余裕がないと感じる時に、思考過程が省略され、不必要または粗略な行動が増加してしまう[2]。

交通事故の原因と深い関連性が見られる人的背景として、ドライバーの衝動性や情緒不安定性等の感情制御能力の欠如、および外因による情緒の混乱や急ぎの気持ち等が挙げられる[3]。また、負の感情は一概に危険運転を助長するのではなく、恐れを感じやすいドライバーは、怒りや焦りと対照的に、事故・違反経験が少ないという調査結果も得られている[3]。各種知見[1][4][5]をまとめると、負の感情による運転変化は概ね図1に示すメカニズムをたどっている。運転中に負の感情が発生した場合、危険運転を引き起こす可能性が高く、事故の発生につながる。本研究は、感情による危険運転に着目し、運転中のリアルタイムフィードバックを通じてその抑制を目指す。

1-2 運転中の感情発生

運転中に発生する負の感情の種類、および危険運転への影響を把握するため、社有車ドライバー25名（20~50代、男性23名、女性2名）を募集し、日々の運転後にウェブアンケートに回答する形で、焦り・苛々・不安・動揺の4種類の感情の発生時間帯を取得した。運転する社有車には、自社が提供する運転計測・管理用車載器「ドライブカルテ (DriveKarte®¹)」[6]を設置し、ドライバーの安全確認行動や車の運転速度等の運転行動データを同時に収集した。なお、当該情報収集については参加者全員から同意を得た上で実施した。

アンケートの初月分（2019年11月）で確認した結果、4種類の感情のうち、焦りの感情が発生したドライバーは約7割と最も多く、また約4日に1回発生していることが分かった（表1）。さらに、車載器で検出される危険運転イベント（急ハンドル/加速/減

速・速度超過・あおり運転）を集計した結果、正常時（1日のうち負の感情が発生する以前の時間帯）の発生頻度は平均0.2件/hであるのに対し、焦り時（焦りのみを感じる時間帯）は平均0.9件/hと約4倍も増加することを確認した（対応データがある12名、 $t(11) = -2.64, p < 0.05$ ）。

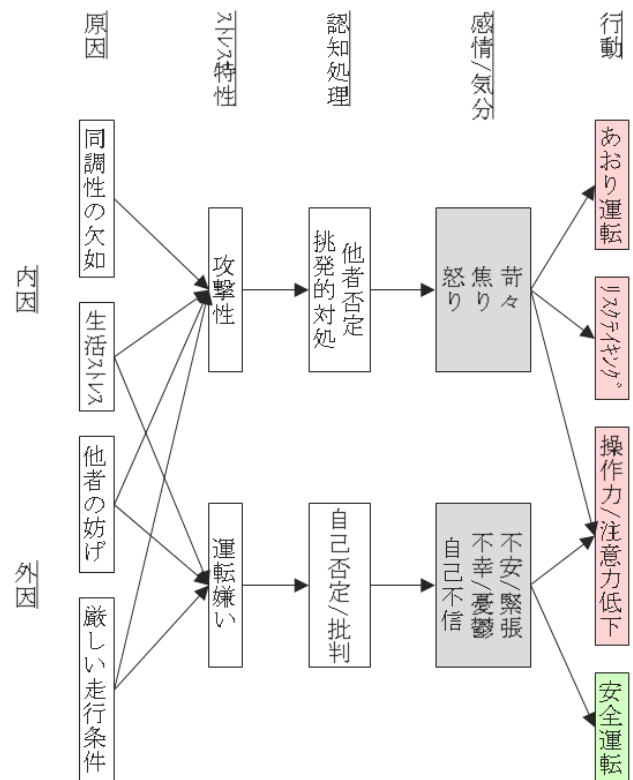


図1 負の感情による運転行動変化のメカニズム

表1 感情の発生割合と頻度（2019年11月）

※5日以上回答した21名	焦り	不安	苛々	動揺
発生ドライバー割合	67%	38%	38%	33%
発生頻度（日割合平均）	24%	7%	6%	7%

以上の結果から、本研究は焦りの感情に着目し、「ドライブカルテ」によって計測可能となったドライバー行動情報を用いて、焦り運転をより精度高く、リアルタイムに検知できる手法の開発を試みた。

2. 焦り運転の検知手法

2-1 関連研究

従来の焦り運転検知手法として、ドライバー毎にモデルを構築し、車間距離保持等の運転操作に基づ

¹ DriveKarte は、オムロンソーシアルソリューションズ株式会社の登録商標です。

き、急ぎの状況下とそうでない状況下の操作量の大小を比較する研究[7][8]や、操作量の逸脱度とドライバーが申告した急ぎ度との変化の一致率を評価する研究[9]がある。これらの手法は、個人毎のパラメータ設定が必要であり、また、先行車の走行状態にも依存するため、実現がやや困難である。先行車追従以外の場面にフォーカスした研究としては、一時停止交差点での加減速具合を用いてリスクを定量化する研究[10]や、発停車や旋回前後等の場面を抽出し、車両から取得した速度やエンジン回転等で危険運転を識別する研究[11]がある。

これらの研究はすべて、車両の状態のみに注目し、車両を操作する人間の状態を考慮していない。そして、検知結果のフィードバック方法には言及しておらず、危険運転抑制の目的を果たすには一工夫が必要である。

2-2 提案手法

本研究は、焦り運転をより精度高く検出することを目指し、焦りの増進・減退をリアルタイムに追従できる手段として、検出に用いる特徴量と焦り運転のモデリング手法を提案する。

モデルに入力する特徴量は、車両の操作状態を反映する車速に加え、車速に表れない人間の運転行動情報も取り入れる。具体的には、「ドライブカルテ」に内蔵する画像処理型センサで計測した、ドライバーの顔向き・視線から算出する交差点確認行動を用いる。交差点は日常運転でよく通過する場所であり、交通事故が最も発生する場所[12]である。負の感情が発生しやすいと考えられるため、交差点における安全確認不足や高速通過を検出することによって、焦り運転をより有効的に捉えることが期待できる。

運転行動への焦りの影響には個人差があり、突発的に変化するドライバーもいれば、徐々に悪化するドライバーも存在する。異なる逸脱の傾向を同時に検出できるモデルの構築には、ベイズ推定を活用できると考えた。焦りの発生確率を事前確率として設定しておき、各種運転行動(F)を観測事象とすれば、ある交差点通過における焦り発生の事後確率(焦り度)は以下のように算出できる。

$$p(\text{焦り}|F_1, \dots, F_n) = \frac{p(\text{焦り})p(F_1, \dots, F_n|\text{焦り})}{p(F_1, \dots, F_n)}$$

感情の最新状態をリアルタイムにモデルに反映するために、交差点通過毎に算出する事後確率で事前

確率を更新する。ただし、感情の継続性を考慮し、更新処理にはタイマーを設ける。例えば、タイマーを10分に設定すると、交差点通過が10分以上ない場合、事前確率は初期状態にリセットする。最後に、ドライバーへのフィードバックの有無は、事後確率の閾値超過により判定する。上述の処理フローを図2に示す。

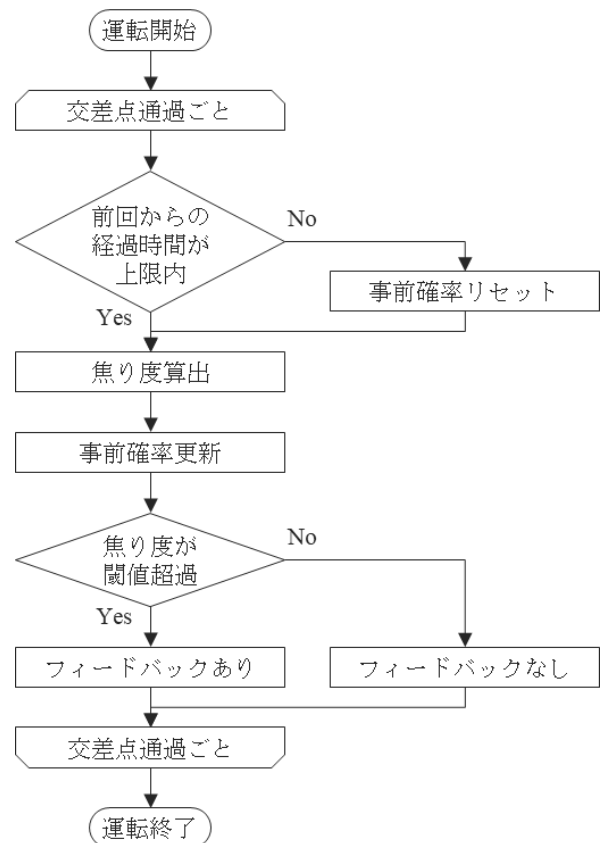


図2 焦り検知の処理フロー

3. 性能評価

3-1 特徴量の予備選択

1回の交差点通過において、「ドライブカルテ」が記録する安全確認行動は、通過前の進路方向と反対方向確認、および通過後の進路方向確認の三つのタイミングで評価している。本研究は各タイミングにおける顔向き角度・確認時間・車速を特徴量候補とした。計9個の特徴量から焦り検知に使用できる特徴量を選出するため、2019年11月から2020年2月までのデータを対象に、各特徴量の正常時・焦り時の平均値差について有意性検定を行った(表2)。

選択基準は、焦り時に変化、もしくは悪化する特徴量、環境から影響を受けにくい特徴量の二点を設定した。後者は特に車速に関する基準であり、赤信

号等による強制停車の影響を排除するためである。表 2 に示す結果から太字記載の 4 特徴量を予備選択した。

表 2 特徴量の正常時・焦り時平均値比較

特徴量 ¹		正常時 平均	焦り時 平均	p 値 ²	変化 ³	0 の 割合 ⁴
通過前 進路方向 確認	角度	50	45	0	悪化	-
	時間	45	47	0.19	なし	-
	車速	16	17	0	悪化	19%
通過前 反対方向 確認	角度	31	27	0	悪化	-
	時間	20	22	0.09	なし	-
	車速	20	22	0.06	なし	40%
通過後 進路方向 確認	角度	50	45	0	悪化	-
	時間	27	28	0.12	なし	-
	車速	13	14	0	悪化	-

※1. 単位：角度（°），時間（秒），車速（km/h） ※2. 片側検定
 ※3. 有意水準 $\alpha = 0.05$ ※4. 車速特徴量からは 0 の値を除去

3-2 評価方法

本提案手法の特徴は、人間の情報を含んだ特徴量の取込みとベイズ更新の仕組みである。その優位性を評価するために、車速のみを特徴量とした手法と、ベイズ更新しない手法（単純ベイズ分類器で判定、タイマーが切れるまでの累計焦り回数でフィードバックを決める）との 3 手法の性能比較を行う。そして、モデルの汎化性能を評価するために、ドライバー毎に交差検証を行い、個人の結果比較も行う。

評価の真値は、1-2 で述べたウェブアンケートを使用し、アンケートの回答が 1 時間単位であるため、評価単位は 1 時間とし、表 3 のように定義した。

表 3 判定結果の混同行列

真値	判定	
	焦り > 0 回	焦り = 0 回
焦り時間帯 (P)	TP	FN
正常時間帯 (N)	FP	TN

アンケートに協力した 25 名のドライバーのうち、4 か月分のデータにおいて、正常時・焦り時両方揃っているドライバー 15 名を用いた。合計時間数 $N = 1539$ の内、焦り時間数は 75 (5%) である。アンバランスなデータに対し、モデルの検出力を重点的に評価しつつ、誤検出も抑えるため、評価指標および優先順位は以下のように決定した。

$$\textcircled{1} \text{ F 値 (F1 score)} = \frac{2 \times \text{TP}}{2 \times \text{TP} + \text{FP} + \text{FN}}, \text{ 再現と適合 (検知精度の高さ) のバランス指標}$$

$$\textcircled{2} \text{ 再現率 (recall)} = \frac{\text{TP}}{\text{TP} + \text{FN}}, \text{ 検出力の高さ指標}$$

$$\textcircled{3} \text{ 見過ぎ率 (fall-out)} = \frac{\text{FP}}{\text{FP} + \text{TN}}, \text{ 検知精度の低さ指標}$$

$$\textcircled{4} \text{ 正解率 (accuracy)} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{FP} + \text{FN} + \text{TN}}$$

特徴量の間には、情報の補完もあれば冗長もある。その最適組み合わせの選出は、モデルの評価と同時にを行う。具体的には、特徴量の異なる組み合わせをモデルに入力し、上述の評価指標および優先順位を基準に、最適な組み合わせを決定する。また、リセットタイマー（候補：10～3600 秒）や焦り度の閾値も同じ基準で決定する。

3-3 評価結果

4 特徴量の組み合わせと事前確率のリセットタイマーを数種類試し、前述の指標優先順位で並べ替えた結果、提案手法における最適な特徴量は、交差点通過前の反対方向確認角度と交差点通過後の進路方向確認時車速の組み合わせであり、最適タイマーは 600 秒となった。

表 4 に示すように、提案手法の F 値は比較手法の約 2 倍向上した。これは、見過ぎ率や正解率は 3 手法同レベルであったが、比較手法の 2 割台の再現率に対し、提案手法の再現率は約 1.5 倍向上したためである。再現率は 3 割にとどまったが、提案手法の優位性を示すことはできた。

表 4 提案手法の優位性比較

モデル	特徴量	F 値	再現率	見過ぎ率	正解率
ベイズ更新	角度	0.19	0.33	0.14	0.82
	車速				
ベイズ更新	車速	0.11	0.21	0.12	0.84
単純ベイズ	角度	0.09	0.18	0.14	0.81
	車速				

次に個人毎の結果を表 5 に示す。15 人の F 値と再現率の標準偏差は、ともに平均値を上回っており、再現と適合のバランスにおける個人差の大きさを示唆している。一人ずつ再現率を確認すると、すべて

検出されている人（ドライバーO, K）から、まったく検出されない人（ドライバーN, M, J, F, I）までばらつきがあった。

表5 ドライバー毎の交差検証結果

ドライバー	F 値	再現率	見過ぎ率	正解率
全員	0.19 (±0.23)	0.33 (±0.36)	0.14 (±0.11)	0.82 (±0.10)
L	0.80	0.67	0.00	0.95
C	0.50	0.70	0.27	0.73
A	0.42	0.50	0.28	0.67
O	0.33	1.00	0.13	0.87
G	0.22	0.33	0.14	0.82
K	0.20	1.00	0.24	0.77
H	0.20	0.20	0.03	0.93
B	0.10	0.33	0.25	0.73
E	0.10	0.17	0.15	0.81
D	0.02	0.11	0.33	0.65
N	0.00	0.00	0.02	0.97
M	0.00	0.00	0.04	0.93
J	0.00	0.00	0.05	0.83
F	0.00	0.00	0.11	0.88
I	0.00	0.00	0.13	0.83

3-4 考察

提案手法の再現率の低さは、5%の検出対象を見つけ出すことの難しさを表している。しかし、比較手法と比べると、再現率は向上したため、人間の行動を直接測った顔向き角度の情報の利用、そしてベイズ更新の仕組みの導入によって、焦りによる行動変化の特徴や推移がより正確に捉えられるようになったと推測する。

個人差を分析するにあたり、個人の焦りの出方や手法との相性を確認するため、表5にて太字記載の4人を例として抽出する。ドライバーCは再現率も見過ぎ率も高い、ドライバーOは再現率が高く見過ぎ率が低い、ドライバーBは再現率が低く見過ぎ率が高い、そしてドライバーNは再現率も見過ぎ率も低い、という4タイプの代表例である。4人それぞれのある1日に通過した11個の交差点をスナップショットとして切り取り、表4に示す3手法で算出した焦り度（提案手法：実線、単純ベイズ：破線、車速のみ：点線）と、特徴量（角度：淡灰色、車速：濃灰色）の増減を可視化した（図3～6）。なお、焦り度と特徴量の値はすべて正規化し、大きくなるほど

危険となるように統一し、比較できるようにした。また、背景の色は真値（正常時：グリーン、焦り時：ピンク、評価対象外：オフホワイト）を表しており、縦線はタイマー切れでリセットがかかったタイミングで、赤点は焦り運転が検知された交差点である。

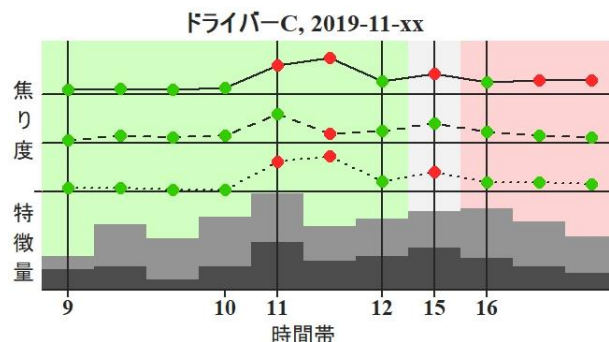


図3 ドライバーCのスナップショット

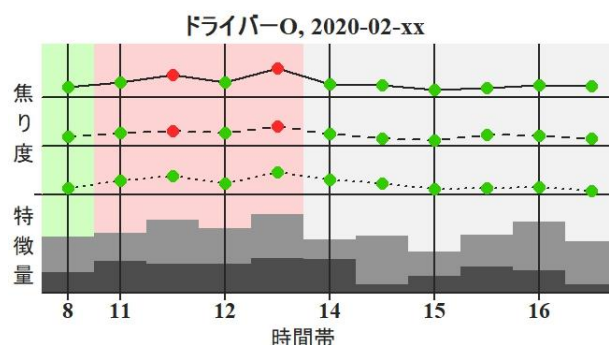


図4 ドライバーOのスナップショット

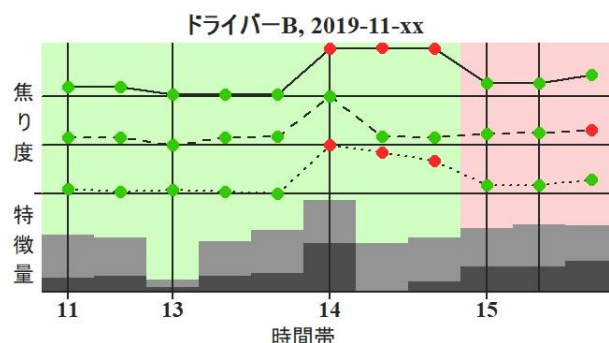


図5 ドライバーBのスナップショット

まず、提案手法で再現率と見過ぎ率両方高かったドライバーC（図3）は、正常時の誤検知も見られるが、ほか2手法と比べると、焦り時間帯は検出できている。顔向き角度の不足分が、ベイズ更新により加算され、検出に至った典型例である。再現率が最も高く、見過ぎ率も低かったドライバーO（図4）は、車速の変動が小さく、顔向き角度に焦りが顕著

に表れる。そのため、車速のみを使った手法では見落とされるが、提案手法と単純ベイズの手法では同じように検出される。続いて、再現率も見過ぎ率も低かったドライバーB(図5)は、正常時の特徴量変動が激しい一方、焦り時の変化量は小さい。変動の特徴が掴みにくく、単純ベイズの方がまだ正解を出している。最後に、ほとんど検出されなかったドライバーN(図6)は、日頃から安全ドライバーであり、また焦っても行動に表れないドライバーであったため、3手法とも機能しなかった。まとめると、焦りが行動に表れにくいドライバー(B, N)は検知しにくい、焦ると安全確認が疎かになるドライバー(O)は正しく検出できる。そして、誤検知はあるものの、日頃から安全確認が悪いドライバー(C)においても、焦ると小さな悪化が継続することから、検出できる可能性を確認した。

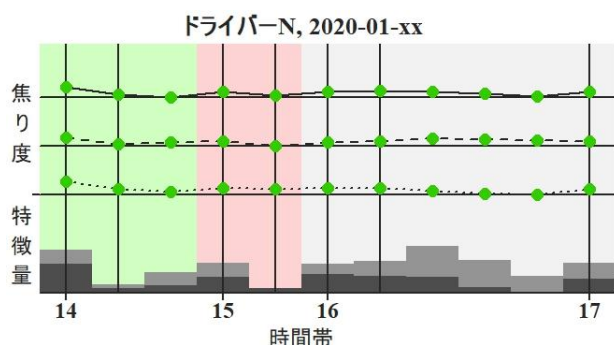


図6 ドライバーNのスナップショット

4. おわりに

本研究は、焦りによる危険運転に着目し、交差点通過時の安全確認に関する特徴量を取り入れ、ベイズ推定・更新の原理を活用したリアルタイム検出手法を開発した。焦りが安全確認特徴量に表れるドライバーに対し、提案手法の有用性を確認した。また、運転行動の小さな悪化が継続するドライバーにおいて、再現率向上の可能性を示した。

焦りによる危険運転のリアルタイム抑制が、本手法で実現の可能性が見えてきた。今後は、対象ドライバーの選別等を通じて、再現率の更なる向上に注力していきたい。

謝辞

本研究のデータ取得にご協力いただいた社有車ドライバーの皆様へ深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 藤井義久, ドライバーの怒り感情とその対処行動に関する研究, 岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要, 13: 253-263, 2014.
- [2] 森泉慎吾, 臼井伸之介, 和田一成, 上田真由子, 急ぎ・焦りエラーに関する体験型教育の効果, 労働科学, 94.4: 99-107, 2019.
- [3] 石田敏郎, 松浦常夫, 交通心理学入門, 企業開発センター交通問題研究室, 2017.
- [4] 小川和久, 太田博雄, 向井希宏, 鈴木隆, ドライバーの感情特性と運転行動への影響, 国際交通安全学会平成21年度研究調査報告書, 2010.
- [5] Matthews, G., Dorn, L., Hoyes, T. W., Davies, D. R., Glendon, A. I., Taylor, R. G., Driver stress and performance on a driving simulator, Human Factors, 40.1: 136-149, 1998.
- [6] オムロンソーシアルソリューションズ株式会社, 安全運転管理サービス「ドライブカルテ」, https://socialsolution.omron.com/jp/ja/products_services/transportation/drivekarte/, 2020年10月27日閲覧.
- [7] 稲田一成, 永井正夫, 超小型電気自動車の通常運転行動モデルに基づく個別適合運転支援システムの開発, 日本ロボット学会誌, 27.8: 885-891, 2009.
- [8] 飯島健, 道辻洋平, 前田公三, 永井正夫, 市街地走行データベースに基づく急ぎ運転状態検出アルゴリズム, 自動車技術会論文集, 41.3: 751-758, 2010.
- [9] 宇積勇太郎, 小竹元基, 鎌田実, 平松真知子, 寸田剛司, 交差点における不安全運転行動を予兆するドライバ逸脱評価指標の提案, 自動車技術会2013年秋季大会学術講演前刷集, 101-13: 1-4, 2013.
- [10] 平松真知子, 寸田剛司, 小竹元基, 鎌田実, 一時停止交差点におけるドライバのヒヤリハット・リスク定量化手法の研究, 自動車技術会論文集, 45.4: 717-722, 2014.
- [11] Hong, J. H., Margines, B., Dey, A. K., A smartphone-based sensing platform to model aggressive driving behaviors, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 4047-4056, 2014.
- [12] 警察庁, 令和元年中の交通事故の発生状況, 2020.