

衝突警報システムがドライバーの安全運転技能 に及ぼす影響と持続性の調査

徳永翔^{†1} 大村廉^{†1}

概要: 運転中の危険に対して警報を発する衝突警報システムにより、ドライバーの衝突原因となる運転を減らすことが期待されている。一方で、危険認知が減少し却って危険運転を誘発する懸念がある。しかし、現在までに衝突警報システムがドライバーの運転にもたらす変化を長期にわたって計測し、分析した報告はされていない。そこで本研究では、配送業務を行う19名のドライバーについて、約10ヵ月間の間に得られた実車走行データを用いて衝突警報システムがドライバーに与える影響について調査する。調査では、同じ被験者から衝突警報システムの警報を発しない期間(約2ヶ月間)と発する期間(約8ヶ月間)の実車走行データを比較する。結果、警報に対する効果が低いドライバーも存在する一方で、衝突警報システムが衝突原因となる運転を減らすことがわかった。

キーワード: 運転支援システム, 衝突警報システム

Investigation of the affect and durability of the collision warning system on the driver's driving skill

SHO TOKUNAGA^{†1} REN OHMURA^{†1}

Abstract: Driving warning systems, which give a driver a warning when the car is facing on dangerous situations, are expected to reduce the number of car accidents by preventing the driver's operations that is likely to cause a car accident. However, there is few study about the long-term effect of warning systems to drivers. Thus, this study investigates the long-term effect using real driving data obtained driven by 19 drivers, whose occupations are delivery work, during 10 month. In the investigation, we compared 2 month data of no warning and 8 month with warning. As a result, while some drivers are not affected by the warning, many drivers can reduce the dangerous driving operations that are likely to cause a car accident.

Keywords: Driving support system, Collision warning system,

1. はじめに

運転中に前方車との衝突や車線逸脱による衝突に対してドライバーに警報を発するシステムを衝突警報システムと呼ぶ。交通事故はドライバーが原因による事故が多くを占めており、衝突の原因となる運転を改善すること(以下、安全運転技能)が重要である。衝突警報システムは運転中に衝突の危険に対して衝突の回避や軽減できる可能性を上げるだけでなく、ドライバーの安全運転技能に変化を及ぼすと考えられる。例えば、衝突原因となる運転を警報によってドライバーに認知させることで、安全運転技能の改善が期待できる。一方で、警報に対する安全運転技能の変化はドライバー特性(運転スタイル、安全運転態度など)や衝突警報システムに対する信頼性によって異なるため、ドライバー毎に個人差が生じる。従って、警報の効果が薄いドライバーや、更なる運転改善が必要なドライバーに対して安全運転指導を行うことが必要となる。このような安全運転指導に関する取り組みは既に実施されており、衝突警報シ

ステムを車載した事業用車から、衝突警報が発生した状況における実際の走行データを取得し、ドライバーに安全運転指導を実施する、といった取り組みもある[1]。

一方で、シミュレーションではなく、実車におけるドライバーの運転技能について、衝突警報システムを搭載することによって安全運転技能がどのように改善されているか、また、長期的に改善が持続するか、ということは明らかにされていない。上記のような取り組みにおいても、ドライバーの現時点での安全運転技能を評価し、その状況に対して指導を行うのみであった。衝突警報システムによる安全運転技能の変化を長期的に計測し、ドライバー特性との関係を調査することで、今後の安全運転技能の変化を推定することができれば、将来予測や長期的に留意すべき点、あるいは、将来おろそかにしがちな点など、より有益な安全指導をドライバーに対して実施できるようになると期待できる。

そこで本研究では、配送業務を行う19名のドライバーについて、実道路を走行する際のデータを長期間にわ

^{†1} 豊橋技術科学大学
Toyohashi University of Technology

たつて計測・分析することで、衝突警報システムがドライバーに与える安全運転技能の変化と持続性を調査する。具体的には、1)衝突警報システムが比較的短期間でドライバーに及ぼす安全運転技能の変化を評価する。2)衝突警報システムによって変化した安全運転技能の長期持続性を評価する。3)警報を発しない期間の走行データから得られる平常運転時のドライバーの特性と、衝突警報システムによる安全運転技能改善の持続性との関係を導出する。

2. 関連研究

衝突警報システムは、警報に対してドライバーが適切に反応することで、衝突事故の可能性を下げることができる。実際に警報システムが衝突事故を削減することを示す報告がされている[2][3]。一方で、ドライバーと衝突警報システム間のミスマッチによって、警報の効果が期待できない懸念がある。例えば、誤警報や不警報によってドライバーが衝突警報システムを信頼しなくなり、警報に対して適切に反応しない、という報告がある[4]。また、正常な警報に対してもドライバーが感じる煩わしさやシステムに対する過信が問題となっている。既存の研究では、警報に対してドライバーが適切に対応するか評価することで、衝突警報システムの事故軽減効果を推定している。しかし、ドライビングシミュレータやテストコースによって評価を行っており、実道路を走行するドライバーが警報によって安全運転技能が改善しているかどうかについて調査した報告はほとんどない。従って、実道路で走行するドライバーに対する衝突警報システムの安全運転技能の影響や、安全運転技能の変化について、その長期的な持続性はまだ明らかになっていない。衝突の危険を検出し、警告を発するだけでなく、そもそも衝突の危険を起ささないような運転を行うための安全運転技能は、交通事故の予防安全に対して特に重要である。このため、衝突警報システムの警報に対して安全運転技能の改善があまり見られないドライバーに対して適切な指導を行うことは重要である。さらに、ドライバーの特性に応じて、将来的な安全運転技能の変化を予測し、その予測に応じて適切な安全運転指導を行うことは、ドライバーの本質的な安全運転技能の改善や、長期的な事故の軽減を望む上で、特に重要である。

3. 評価方法

本研究では、実道路を走行するドライバーから衝突警報システムが与える安全運転技能の変化とドライバー特性との関係を調査することを目的とする。本研究では、まず、複数のドライバーから長期間の実車走行データを取得する。そして、下記の項目について調査を行う。

(1)衝突警報システムが及ぼす安全運転技能の変化の評価

衝突警報システムについて、警報を発しない期間と発する期間におけるドライバーの安全運転技能の変化を比較し、

実車における衝突警報システムの安全運転技能に対する効果を明らかにする。

(2)安全運転技能変化の持続性の評価

(1)で得られた結果を参照しながら、衝突警報システムが及ぼす安全運転技能の変化は長期的に持続するのかが評価する。(1)で衝突警報システムによってドライバーの安全運転技能が改善し、(2)による評価で改善が持続していれば、衝突警報システムはドライバーの安全運転技能を持続的に改善できると言える。一方で、安全運転技能の改善が持続しないドライバーが存在した場合、将来的に安全運転技能が低下するドライバーがいることになる。

(3)ドライバー特性と安全運転技能との関係の検討

衝突警報システムによってドライバーの安全運転技能がどのように変化するか推定するために、ドライバー特性が必要である。ドライバー特性を把握する手法として、運転スタイルチェックシートやテストコースによる運転が挙げられるが、ドライバーにとって負担となるため実施が難しい。そこで、警報を発しない期間の走行データからドライバー特性を導出する方法を検討する。警報を発しない期間の走行データから安全運転技能の変化を推定することが可能であれば、同様の特性を持つドライバーに対して今後の安全運転技能の変化を推定できることが期待できる。

3.1 長期間の実道路走行データ

本研究では、サービス業で配送業務するドライバーから約 10 ヶ月間に及ぶ実道路走行データを使用した。ドライバー人数は 19 名(男性 13 名、女性 6 名)、年齢は 24 歳-56 歳(平均 39.74 歳)である。事業用車両には全て Mobileye530 を搭載している。Figure 1. 衝突警報システム(Mobileye530)の車載例を示す。単眼カメラによって前方認識し、モニターとビーブ音によってドライバーに警報を発する。ドライバーは警報を発しない期間[2017 年 3 月 1 日-2017 年 5 月 23 日]の後、警報を発する期間[2017 年 5 月 26 日-2018 年 1 月 19 日]がある。警報を発しない期間とは、単眼カメラは動作しているが、警報モニターとビーブ音が発生しない状態であり、警報を発する期間は衝突警報システムが通常動作している状態である。また、Mobileye530 の警報は 6 種類存在する。Table 1. Mobileye530 の警報機能と発生タイミングを示す。



Figure 1. 衝突警報システム(Mobileye530)の車載例

Table 1. Mobileye530 の警報機能と発生タイミング

警報機能	警報発生タイミング
低速時前方車衝突警報	低速時や停止時に前方車と衝突の危険がある場合
前方車間距離警報	前方車までの距離に 0.9 秒以内で到達する場合
前方車衝突警報	2.7 秒以内に前方車と衝突の危険がある場合
車線逸脱警報右	右車線を逸脱する場合
車線逸脱警報左	左車線を逸脱する場合
前方歩行者衝突警報	2 秒以内に前方歩行者や自転車と衝突の危険がある場合

また、ドライバーの走行データを取得するために走行管理システム (ITURAN) を使用した。Figure 2. ITURAN による走行データ収集方法を示す。車両に GPS と 3G 回線、G センサーを搭載し、クラウドにリアルタイム走行データを収集することでドライバーの運転行動を監視できる。

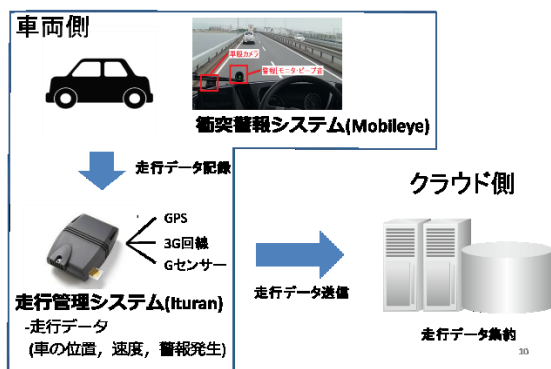


Figure 2. ITURAN による走行データ収集方法

Table2. ITURAN システムの走行データ

機能	機能説明
時間の記録	・走行データ取得に対して秒単位で現在の時刻を記録
イベント発生トリガー	・Mobileye が前方車や歩行者の認識、または警報の発生 ・G センサーが急ブレーキ、急ハンドルを検知
位置情報(GPS)取得周期	・イベントがない場合は1分毎に走行データとして取得 ・イベント発生時は即時に走行データとして取得
運転速度と走行距離の記録	・2点間の位置情報と時間差から走行距離と運転速度を算出
急ブレーキ、急ハンドル	・G センサーの閾値を超えるとイベント発生

3.2 衝突警報システムが及ぼす安全運転技能の変化

まず、衝突警報システムがドライバーの安全運転技能に与える変化について評価を行う。本研究では、各ドライバーについて、衝突警報システムの警報を発しない期間におけるデータと警報を発する期間における走行データの比較を行った。また、安全運転技能の尺度として、1 km 毎の警報発生頻度[警報発生回数/km]を用いた。計測項目は、Table 1 に示した全ての警報である。

データ処理における考慮として、それぞれの期間で警報装置が搭載された直後は、緊張などにより通常の運転とは異なる運転となる可能性がある。例えば、衝突警報システムの警報を発しない期間の開始日では、ドライバーが確認できる位置に前方認識カメラを車載するため、ドライバーに違和感を与え運転に影響が出る可能性がある。また、警報を発する期間の開始日は、ドライバーが衝突警報システムに慣れていない可能性がある。このことから、それぞれの期間の開始 3 日目以降の走行データを扱うこととした。

また、条件を揃えて比較するために、走行データの取得日数はドライバー毎に警報を発しない期間と発する期間で揃えた。加えて、雨天候日は視認性の悪化により安全運転技能に変化を与えることが考えられるため、降水量 3mm/h 以上の時間帯を走行データから除外した。

以上の条件でドライバー 19 名から走行データを取得し、警報を発しない期間の総走行距離は 349~6345km(平均 2431km)、警報を発する期間の総走行距離は 315km~6145km(平均 2345km)、それぞれの期間におけるドライバーの走行データ取得日数の平均は 34 日である。

3.3 安全運転技能変化の持続性

次に、衝突警報システムによってドライバーの安全運転技能が変化した場合に長期的に持続するかどうかを評価する。安全運転技能の持続性を確認するために、ドライバー毎に 1 日の警報発生頻度[警報発生回数/km]を算出し、警報を発しない期間[2017 年 3 月 1 日-2017 年 5 月 23 日]から警報を発する期間[2017 年 5 月 26 日-2018 年 1 月 19 日]までの警報回数を求める。加えて、ドライバーは一日毎の警報発生頻度の変動が大きいことが予想されるため、移動平均法によって 1 日(前後 1 日)、1 週間(前後 3 日)、一ヶ月(前後 15 日)で平滑化を行う。

データ処理における考慮として、それぞれの期間の開始 3 日以降の走行データを扱う。また、1 日の走行距離が 10km 以上の走行データのみを抽出した。

3.4 ドライバー特性と安全運転技能との関係

警報を発しない期間の走行データから安全運転技能の変化を推定するために、ドライバー特性を導出する必要がある。そこで、警報を発しない期間の安全運転技能と運転の安定度ドライバー特性として適用することが考えられる。例えば、元々安全運転技能が高いドライバーは普段から事故に気をつけながら運転していることが考えられ、衝突警

報システムによって安全運転技能は長期的に維持することが考えられる。一方で、もともと余り安全運転技能が身につけていない（安全運転について気を遣っていない）ドライバーは、最初は警報装置の装着によって最初は安全運転に対して気をつかうものの、しばらく後に、慣れが生じて安全運転技能の改善効果が低下していく可能性がある。従って、警報を発しない期間を走行するドライバーから日ごとの安全運転技能の平均を取り、この時のドライバーの安全運転技能の傾向をドライバー特性として適用する。加えて、運転安定度を定義し、日ごとの安全運転技能の変化を表す。日ごとの安全運転技能の変化が多いドライバーは、感情や運転環境によって不安定な運転になることが予想され、安全運転に対する意識が十分でないことが考えられる。運転安定度は、日ごとの安全運転技能の平均との誤差を求めることによって運転安定度を導出する。 Figure 3.

警報を発しない期間の走行データから導出するドライバー特性を示す。

次に、警報を発する期間では、将来ドライバーの安全運転技能が改善する傾向にあるのか明らかにするため、1週間毎の移動平均法による時系列データから最小二乗法による回帰式を導出し、傾きの値によって安全運転技能の変化傾向を求める。また、回帰式と日ごとの警報発生頻度の誤差から、運転安定度を導出する。1日毎の移動平均法では警報発生頻度のばらつきが大きいことを考慮すると1週間毎の移動平均法による時系列データから回帰式を導出することが適切である。警報を発しない期間の安全運転技能の平均と運転安定度から、警報を発する期間の安全運転技能の変化傾向と運転安定度との関係の評価することで、警報を発しない期間の走行データから安全運転技能の変化を推定する。

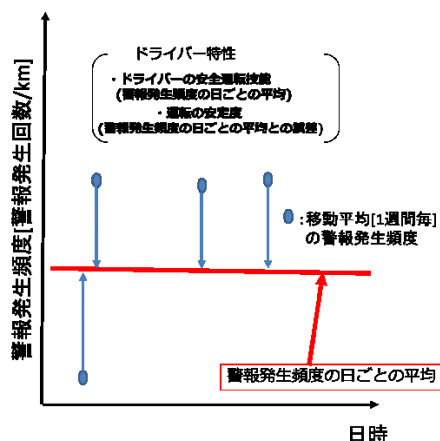


Figure 3. 警報を発しない期間の走行データから導出するドライバー特性

4. 評価結果

4.1 衝突警報システムが及ぼす安全運転技能の変化

衝突警報システムによってドライバーの安全運転技能が変化したかを確認するために、警報を発しない期間と発する期間で全ドライバーの警報発生頻度[警報発生回数/km]が変化するかを Wilcoxon 符号順位検定によって評価した。

帰無仮説：警報を発しない期間と発する期間で全ドライバーの警報発生頻度に差がない

対立仮説：警報を発しない期間と発する期間で全ドライバーの警報発生頻度に差がある

有意水準を 5%として行った結果、全ての警報【警報 6 種類の合計】の警報発生頻度では有意差が存在した。 Figure

4. 全ての警報における

ドライバー毎の警報発生頻度の差を示す。また、「*」は $p < 0.05$ を示す。 Figure 4 を確認すると、警報を発する期間の警報発生頻度は、警報を発しない期間より減少していることが分かる。このことから、衝突警報システムによって、実道路を走行するドライバーの安全運転技能を改善する傾向があることを確認した。一方で、ドライバーが 5 名の警報の発生頻度に差があるとは言えなかったことも確認した。ドライバー特性や警報に対する信頼性によって警報発生頻度が減少しないドライバーが存在する可能性がある。

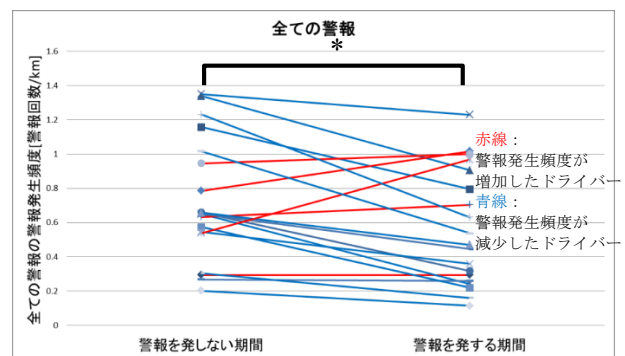


Figure 4. 全ての警報における

ドライバー毎の警報発生頻度の差

警報毎の警報発生頻度の変化を Figure5 に示す。車線逸脱警報については、ドライバー 3 名の走行距離が十分でなかったため計測から除いてある。警報を発しない期間と発する期間でドライバー毎の警報発生頻度に差があるかを確認するために Wilcoxon 符号順位検定を有意差 5%で実施した結果、車間距離警報、低速時前方車衝突警報、左車線逸脱警報、前方歩行者衝突警報については有意差が存在した。従って、衝突警報システムによってドライバーが低速走行時に前方車と衝突する危険のある運転、または前方車に対して危険な停車間距離をとる確率を減少させた。また、運転によって車線逸脱する確率を減少させる傾向であることを示唆した。一方で、前方車衝突警報については有意差が確認できなかった。また、それぞれの警報に対して警報

発生頻度の改善が無かったドライバーが散見し、警報による安全運転技能の改善効果が低いドライバーがいる。

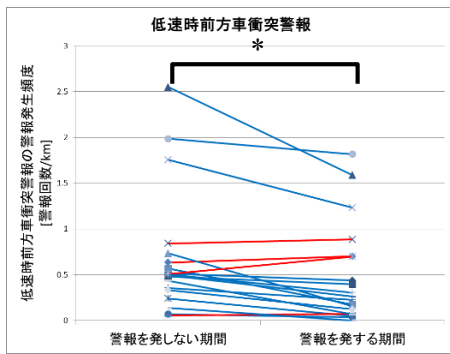


Figure 5. 低速時前方車衝突警報におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

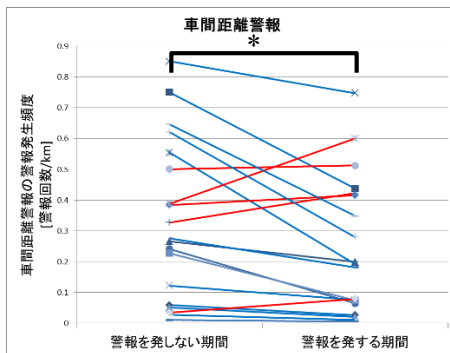


Figure 6. 車間距離警報におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

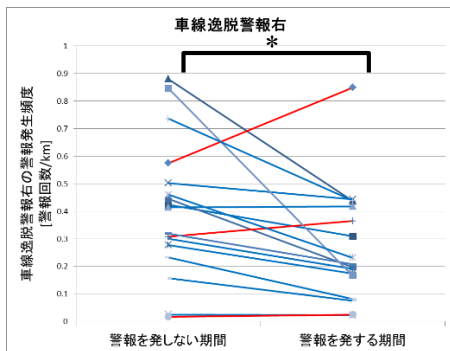


Figure 7. 車線逸脱警報右におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

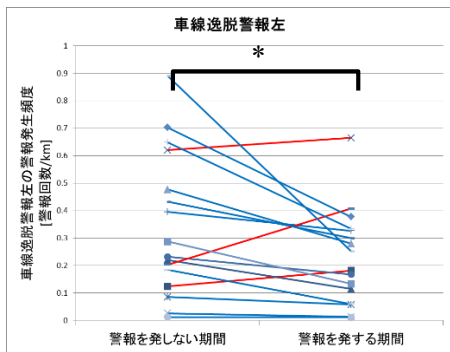


Figure 8. 車線逸脱警報左におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

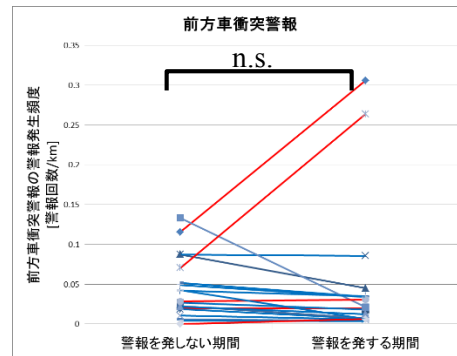


Figure 9. 前方車衝突警報におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

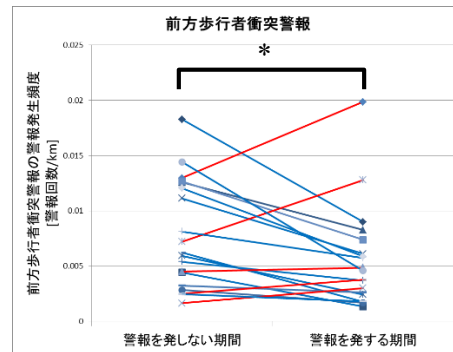


Figure 10. 前方歩行者衝突警報におけるドライバー毎の警報発生頻度の差

衝突警報システムによってドライバーの警報発生頻度をどの程度変化させたかを確認するために、警報毎のドライバーの平均警報発生頻度を比較した。Table3 に、警報を発しない期間と警報を発する期間におけるドライバーの警報発生頻度の平均を示す。Table3 を確認すると、衝突警報システムによって、全ての警報で警報発生頻度を減少させており、特に低速時前方車衝突警報は減少割合 33.90%と著しく減少させた。このことから、衝突警報システムによってドライバーは安全運転技能を改善すると考えられる。

Table3. 警報を発しない期間と警報を発する期間におけるドライバーの警報発生頻度の平均

	警報を発しない期間 [警報発生頻度/km]	警報を発する期間 [警報発生頻度/km]	減少割合
低速時前方車衝突警報	0.15	0.1	33.90%
車間距離警報	0.3	0.24	19.62%
車線逸脱警報右	0.13	0.11	19.88%
車線逸脱警報左	0.09	0.07	19.50%
前方車衝突警報	0.04	0.03	24.08%
前方歩行者衝突警報	0.0048	0.00343	28.54%
全ての警報数	0.72	0.55	22.97%

4.2 安全運転技能の変化の持続性

4.1 章において、衝突警報システムによって安全運転技能の改善が確認できたドライバー14 人の内、十分な長期間の走行データが得られた 13 名のドライバーは長期的に安全

運転技能の持続性について評価する。安全運転技能が持続しているか評価するために、警報を発する期間における警報発生頻度が、警報を発しない期間の警報発生頻度の平均を超えていないことを条件とした。

評価結果として、安全運転技能の持続を確認したドライバーは9名であった。また、安全運転技能が持続していないドライバーは2名、安全運転技能が低下傾向にあるドライバーが2名であった。以上の評価結果から、衝突警報システムが与える安全運転技能の変化を持続できるドライバーがいる一方で、持続していないドライバーや安全運転技能が低下するドライバーがいることを確認した Figure 11. 安全運転技能が持続したドライバーを示す。安全運転技能が持続したドライバーは警報を発しない期間では、警報発生頻度のばらつきが大きい運転をしているが、警報を発する期間に切り替わったことで、警報発生頻度のばらつきを抑えながら運転していることが分かる。つまり、警報によってドライバーが警報を鳴らさない運転をしていることが考えられる。加えて、Figure 14. 安全運転技能が低下したドライバーを示す。警報を発する期間に切り替えた後、一時的に警報発生頻度は低下したが、上昇傾向に転じている。このことから、衝突警報システムによって安全運転技能を改善する傾向にあるドライバーに対しても、将来的に安全運転技能が低下する可能性がある。

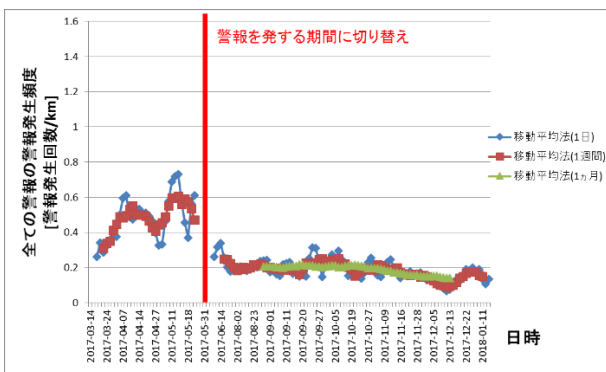


Figure 11. 安全運転技能が持続したドライバーA

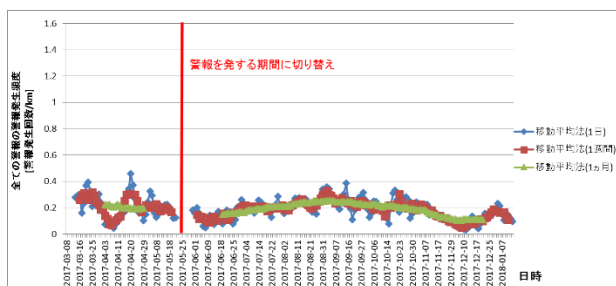


Figure 12. 安全運転技能が持続したドライバーB

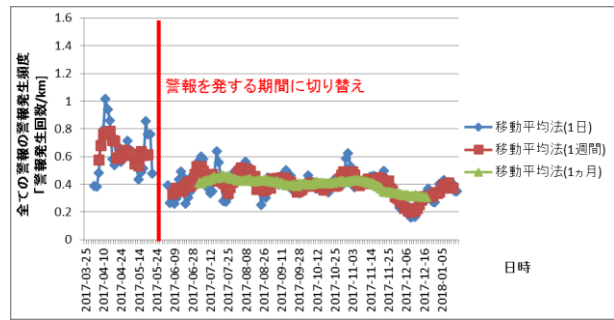


Figure 13.安全運転技能が持続したドライバーC

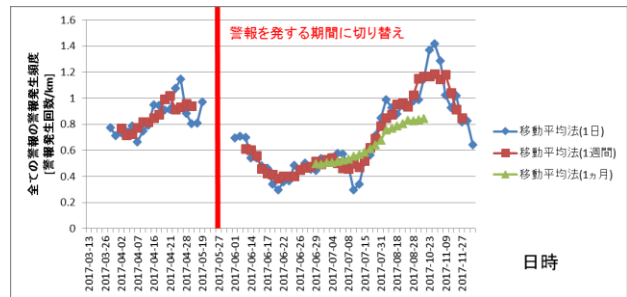


Figure 14. 安全運転技能が低下したドライバーD

5. まとめ

本研究では、実道路を走行するドライバー19名の走行データを長期間にわたって計測することで、衝突警報システムがドライバーに与える安全運転技能の変化と持続性を評価した。また、ドライバーに対して将来的な変化を考慮したより効果的な安全運転指導を実施できると考えられるため、警報を発しない期間における走行データと衝突警報システムが及ぼす安全運転技能変化との関係の調査を行った。

評価では、衝突警報システムによって安全運転技能に変化を与えるのか明らかにするために19名のドライバーから合計約10ヶ月間にわたるデータを取得して分析を行った。衝突警報システムはドライバーの安全運転技能を改善することがわかった。また、衝突警報システムが与える安全運転技能の改善が長期的に持続しているか評価し、13名の内の9名のドライバーが持続していることを確認した。加えて、安全運転技能が持続しているドライバーは警報発生頻度のばらつきが少なく、安定した運転ができていると考えられる。一方で、安全運転技能が改善したドライバーに対して、時間経過によって安全運転技能が低下するドライバーを確認した。

参考文献

- [1] “フリートマネジメントシステム:ITURAN,” [オンライン]. : <https://www.japan21.co.jp/ituran/>
- [2] J. Lee, “Collisionwarning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator,” *Human Factors*, pp314-334, 2014.

- [3]Burgett, “A collision warning algorithm for rear-end collisions,” Highway Traffic Safety Administration, WashingtonDC, 1998.
- [4]J. D. Lee, “Collision Warning Design to Mitigate DriverDistraction,” SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp24-29, 2004.