

交差点通過時の危険回避行動に対する警告の効果分析

Analysis of warnings on avoidance maneuver when going straight through an intersection

関西大学 社会安全学部

伊藤 大輔

Faculty of Societal Safety Science,
Kansai University
Daisuke ITO

関西大学 社会安全学部 卒業生

二木 颯太

Faculty of Societal Safety Science,
Kansai University (Graduated)
Sota FUTATSUGI

関西大学 環境都市工学部

山本 雄平

Faculty of Environmental and Urban
Engineering, Kansai University
Yuhei YAMAMOTO

SUMMARY

In this study, to reduce car-bicycle accidents at intersections, the effects of warning before entering an intersection on avoidance maneuver were examined by using a driving simulator. There were two types of warnings: (1) top warning presented at the top of the central monitor, and (2) navigation warning presented on the navigation screen at the left monitor. Twelve participants were divided into three groups: top warning group, navigation warning group, and no warning group. The results show that the top warning displayed in the driver's field of vision is more effective than the navigation warning in decelerating the speed before entering an intersection.

Key word

driving simulator, warning, car-bicycle accidents

1. はじめに

2023年の交通事故死亡事故の48.9%が交差点・交差点付近で発生しており、その交差点・交差点付近での交通死亡事故の42.8%が人対車両の事故である^[1]。このことから、交差点・交差点付近での人対車両事故、車両対車両事故の低減は重要な課題である。

このような事故への対策の一つとして、歩行者、自転車の飛び出しを検出して自動的にブレーキが作動する衝突被害軽減ブレーキがあるが、このような現状の車載センサによる

自律型運転支援では歩行者や自転車の死角からの急な飛び出しに対して物理的な制約によりすべての状況で事故を回避できないことが示されている^{[2][3]}。

また、近年では車車間、路車間通信を活用した通信利用型運転支援システムの研究・開発も進められている。

寺尾ら^[4]は障害物等の裏から歩行者が飛び出してくるような潜在的危険場面におけるヘッドアップディスプレイでの注意喚起を想定したドライビングシミュレータ実験を実施している。運転者の前方視野内に視覚的な警告

を出す場合、提示強度の違いにより運転者の安心感や信頼感、減速などの運転行動に寄与することを確認している。また、原田ら^[5]もヘッドアップディスプレイ上に自転車接近の情報を提示するシミュレータ実験を実施し、運転支援システムの適切なタイミングの情報提供の範囲を調査している。これによると、自転車の交差点までの到達時間が一定の範囲の場合に警告を出すことが有効であることが示されている。

このように、危険状況への注意喚起に関する研究は多く存在しているが、潜在的危険場面が連続する場合の運転手の警戒行動の変化や、警告の種類の違いがブレーキ制動のタイミングに及ぼす影響に関しては未解明な部分もある。

そこで、本研究では、交差点突入前において警告の提示が運転にどのような影響を及ぼすのかを解析することを目的とする。ドライビングシミュレータを用いた実験を実施し、警告の有無や違いが交差点進入時の走行速度やブレーキ制動タイミングに及ぼす影響を解析した。

2. 方法

2.1 実験装置、走行コース

図1に実験に使用したドライビングシミュレータ（以下、DSと称する）を示す。本DSは関西大学社会安全学部が保有するものであり、3面のモニタと操舵、加減速時の車両挙動を再現できるモーションプラットフォームを有する。DSのソフトウェアにはUC-win/Road^[6]を使用した。

実験の走行コースは長さ3500m、幅員6.4mの片側1車線道路とした。交差点は運転開

始場所から500m離れた地点から200m間隔で15か所設置した（図2）。交差点の中には見通しの良い交差点と見通しの悪い交差点があり、見通しの良い交差点を11か所、見通しの悪い交差点を4か所作成した。



図1 ドライビングシミュレータ

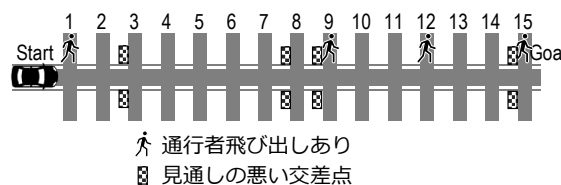


図2 コースの概要

2.2 実験シナリオ

本研究では警告に関して、その有無や種類の違いにより3条件で実験した。なお、警告に関するもの以外は3条件とも共通とした。

全15か所の交差点のうちイベントが発生する交差点は6か所である。6か所のイベントのある交差点の内訳を表1に示す。見通しが良くて通行者の飛び出しがあるイベントを2か所、見通しが悪くて通行者の飛び出しがないイベントを2か所、見通しが悪くて飛び出しがあるイベントを2か所とした。見通しが悪く通行者の飛び出しがない交差点がイベ

表 1 実験で設定した交差点の種類

分類	見通し	飛び出し	交差点数
イベントなし	良	なし	9
	良	あり	2
イベントあり	不良	なし	2
	不良	あり	2

ントありとした理由として、警告の提示があるシナリオでは潜在的危険場面に対して警告を提示するためである。その他 9 か所は見通しが良く通行者の飛び出しのない交差点である。

通行者の飛び出しは、被験者の運転している車が交差点の中央に到達する 2～3 秒前に被験者が視認できるように設定した。イベントの発生する交差点は、1, 3, 8, 9, 12, 15 番目の交差点とした（図 2）。

警告は 2 種類設定した。一方は中央モニタの上部に表示される警告（図 3）であり、もう一方は左モニタの右下のナビに表示される警告（図 4）である。以下、この 2 つの警告を



図 3 上部警告



図 4 ナビ警告

（実際には DS の左画面に表示）

それぞれ上部警告、ナビ警告と表記する。上部警告は交差点中央の 40 m 手前、ナビ警告は 50 m 手前に被験者の自動車が到達すると提示される。実験は約 40 km/h で走行するため、上部警告は交差点に到達する約 3～4 秒前に提示するように設定したが、ナビ警告はナビを見る必要があるため、上部警告より約 1 秒早く提示するように設定した。

2.3 実験参加者

普通自動車運転免許を有している関西大学社会安全学部にも所属する男性の学生 8 人、女性の学生 4 人を被験者とした。実験前に実験参加者に口頭および書面でインフォームドコンセントをおこなった。実験実施者は、実験の目的・危険性・緊急時の対応・参加者の権利・プライバシー保護などについて実験参加者に説明し、全員の了承を得た。本研究は、関西大学社会安全学部研究倫理委員会の承認を得た（審査番号 22-003）。

被験者 12 人を

- 警告が提示されないグループ（警告なし条件）
- 警告として上部警告が提示されるグループ（上部警告条件）
- 警告としてナビ警告が提示されるグループ（ナビ警告条件）

の 3 グループに割り当てた。

ドライビングシミュレータでの運転に慣熟するため、練習としてテストコースを走行させた。練習終了後、実験用のコースを走行させ、計測を開始した。

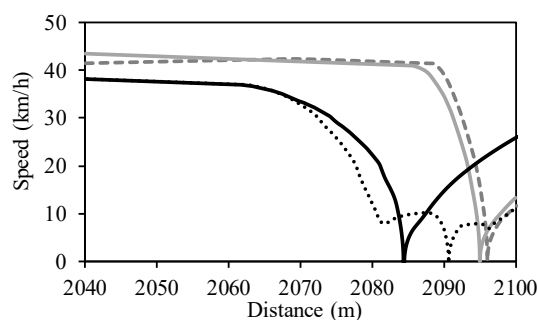
3. 結果・考察

警告の効果を分析するため、9, 15 番目の交差点へ到達するまでの 60 m 間における速

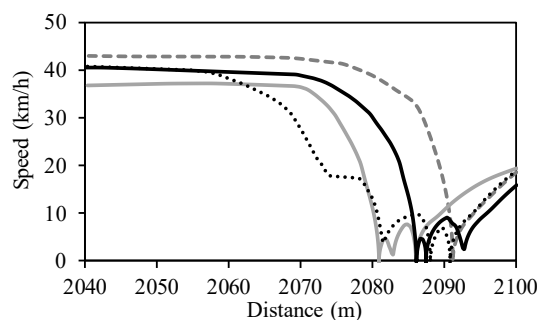
度の履歴を比較する。

図 5 に各条件での 9 番目交差点手前 60 m (2040 m 地点) から交差点中央 (2100 m 地点) 速度履歴を示す。各線が 1 試行に対応する。まず、警告なし条件では 2 例はおおよそ交差点手前 35 m (2065 m 地点) で減速を開始していた。他の 2 例はおおよそ交差点手前 10 m (2090 m 地点) で急減速していることが分かる。次に、上部警告条件のうち 1 例は上部警告が提示される交差点手前 40 m (2060 m 地点) に到達する前にブレーキを踏んで速度を落としている。他の 3 例は上部警告が提示される地点よりも後ろで減速しており、おおよそ交差点手前 30 m (2070 m 地点) で減速し始めていることが分かる。また、ナビ警告条件の 1 例はほとんど減速せずに交差点へ進入した。他の 3 例はナビ警告が提示された交差点手前 50 m (2050 m 地点) よりも後方で減速しており、おおよそ交差点手前 35 m (2075 m 地点) で減速し始めている。上部警告提示されたタイミングから 1 秒後の地点は 2070 m 地点であり、その地点で速度を落としているため、上部警告は警告として効果があったと考えられる。一方、ナビ警告条件では、警告が提示されてから 1 秒後の地点が 2060 m 地点である。この地点で減速している事例は 1 例もない。交差点手前 30 m 以降に速度を落としている例がほとんどであり、減速せずに通過をする例もあるためナビ警告は上部警告より警告としての効果が小さいと考えられる。

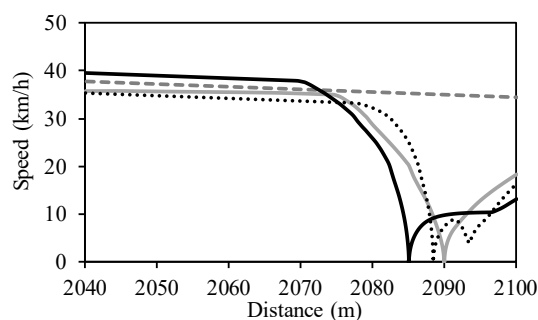
図 6 に 15 番目交差点手前 60 m (3240 m 地点) から交差点中央 (3300 m 地点) までの速度の履歴を示す。警告なし条件 4 例ではこの交差点では減速し始める地点が 4 例とも異なっている。2 例は交差点手前 45~30 m (3255~3270 m 地点) から速度を徐々に落としてい



(a) 警告なしでの速度履歴



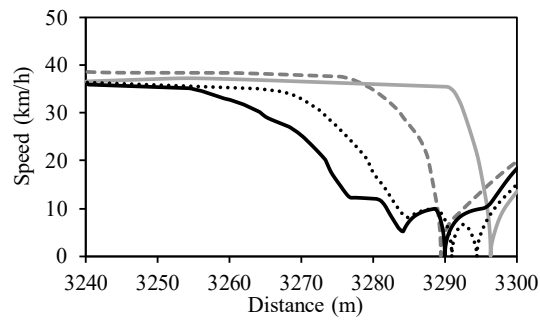
(b) 上部警告ありでの速度履歴



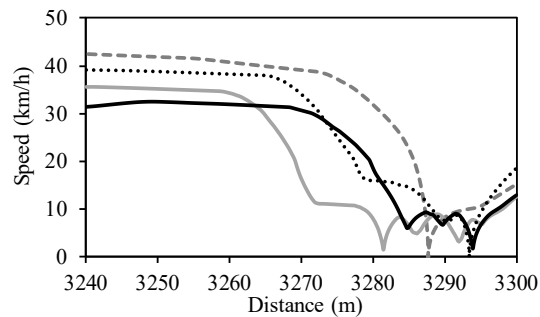
(c) ナビ警告ありでの速度履歴

図 5 交差点 9 における速度履歴

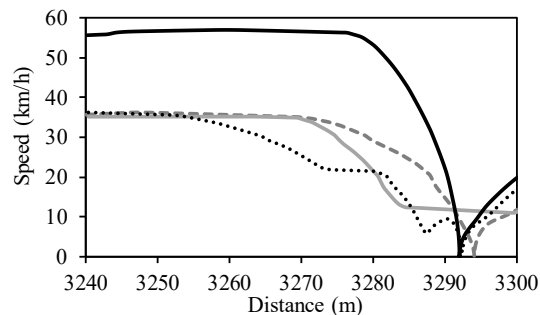
るが、もう 2 例は交差点手前 20~10 m (3280~3290 m 地点) で急に減速した。警告なし条件では、注意深く運転する 2 例とあまり注意をしない運転の 2 例に分かれたと考えられる。次に、上部警告条件の 15 番目交差点では上部警告が提示される前に減速した例はなかった。1 例はおおよそ上部警告が提示されたタイミングである交差点手前 40 m (3260 m 地点) で減速しており、他の 3 例は 9 番目交差点と同様に おおよそ交差点手前 30 m (3270 m 地点)



(a) 警告なしでの速度履歴



(b) 上部警告ありでの速度履歴



(c) ナビ警告ありでの速度履歴

図6 交差点15における速度履歴

で減速していた。また、ナビ警告条件では1例はナビ警告が提示されてからすぐ減速していた。別の1例は、制限速度を大幅に上回る速度で走行しており、警告が提示されてからもすぐに速度は落とさずにおおよそ交差点手前20m(3280m地点)で急減速している。他の2例は、交差点手前30m(3270m地点)で減速していた。

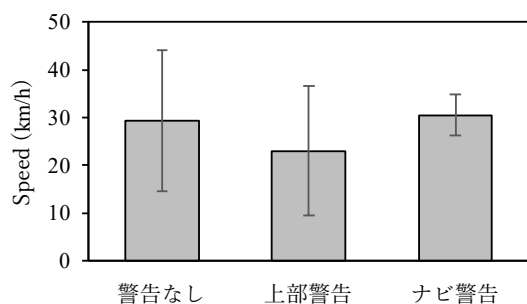
上部警告提示されたタイミングから1秒後の地点は3270m地点であり、おおよそそれらの地点で減速しているため、上部警告は警

告として効果があったと考えられる。一方、ナビ警告条件では、警告が提示されてから1秒後の地点が3260m地点であり、この地点までに減速した例は1例のみであった。交差点手前30m以降に減速している例がほとんどで、減速せずに通過をする例もあるためナビ警告は上部警告より警告としての効果が小さいと考えられる。

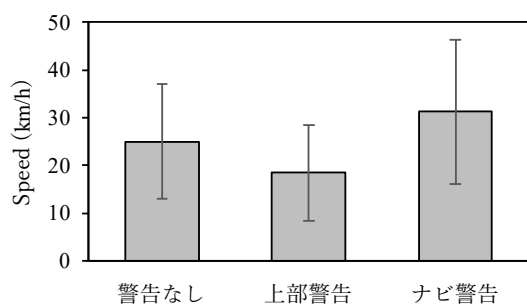
上部警告条件・ナビ警告条件が警告なし条件と比較して速度低減効果があるかを判定するために9, 15番目の交差点手前20mにおける速度をSteel-Dwass検定で分析した。帰無仮説は「警告なし条件, 上部警告条件およびナビ警告条件の3条件間で交差点手前20mでの速度に差がない」とし、有意水準は0.05とした。また、平均値を比較したものを図7に示す。分析の結果、いずれの交差点でもP値が有意水準である0.05より小さくないため有意差は認められなかった。

上部警告条件とナビ警告条件の警告が提示されてからブレーキを踏むまでの時間(以下、反応時間とする)を比較した。警告が提示される前にブレーキを踏んでいた場合はマイナスとし、交差点に進入してもブレーキを踏まなかった場合は測定不能とした。交差点9および15における反応時間の平均値を比較したものを図8に示す。

図8をみると、いずれの交差点に関してもナビ警告よりも上部警告の方が反応時間が有意に短かった。(t検定, $p < 0.05$)。このことから、本実験の条件下においては、ナビ警告よりも上部警告の方がブレーキ操作に対する効果が高かった。



(a) 交差点 9



(b) 交差点 15

図 7 交差点手前 20 m における速度
(平均値 ± 1 標準偏差)

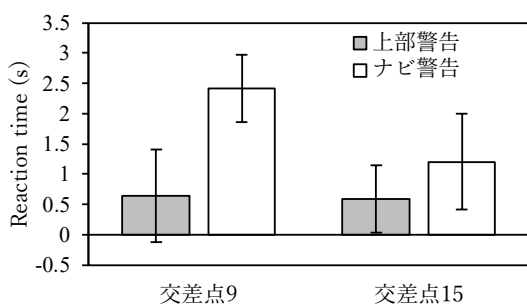


図 8 警告あり条件における反応時間
(平均値 ± 1 標準偏差)

4. まとめ

本研究では、交差点突入前において警告の提示が運転にどのような影響を及ぼすのかを解析することを目的として、ドライビングシミュレータを使用し実験を行った。その結果、以下の結果が得られた。

- 上部警告条件では警告が提示されてから減速を開始するが、ナビ警告条件では提示された直後の時点では減速できていなかった。上部警告条件とナビ警告条件の反応時間を比較すると、上部警告条件の方がナビ警告条件よりも反応時間が短かった。本実験では、ナビ警告よりも運転手の視界内に表示される上部警告の方がブレーキ操作に対する効果が高かった。
- 上部警告・ナビ警告が交差点手前 20 m の速度に及ぼす影響を分析したところ、どちらの条件でも警告なし条件に対して有意差は認められなかった。今回設定した警告では交差点直前での速度には影響を及ぼさないことが分かった。

最後に本研究の将来像について記す。現在検討がされている通信利用型運転支援システムでは車車間や路車間の通信を前提とすることになると考えられるが、路車間システムを全国のすべての交差点に設置することは困難であり、また、周囲車両による歩行者・自転車検知情報の活用には一定の交通量があることが前提となる。そのことから、携帯電話、スマートフォンのような別の通信機器を使わない前提条件の下では、周囲に交通流のない状態で歩行者・自転車による死角からの飛び出しを検出することは困難であることが予測される。

その対応策の一つとして、機械学習技術等を活用し、現在的前方状況や自車速度から潜在的な危険性を推定して警告するシステムが挙げられる。本資料には記載していないが、事故・ヒヤリハット映像を用いて上記のシステムの構築を検討したところ、ある程度の精

【研究ノート】

※本原稿は冊子体刊行前に掲載している印刷前原稿です。

度での危険箇所の予測ができることが確認できている。今後このようなシステムを発展させていくためには、誤検知の問題や、誤検知による警告が出た時の運転者の認知・判断・操作の特徴の把握をすることが必要となる。

d-drive.htm (2024 年 12 月 25 日確認)

(原稿受付日： 2025 年 1 月 13 日)

(掲載決定日： 2025 年 1 月 17 日)

謝辞

本研究は関西大学 2022, 2023 年度若手研究者育成経費の助成を受けた。

参考文献

- [1] 警察庁交通局(2024). 令和 5 年中の交通死亡事故の発生状況及び道路交通法違反取締り状況等について
- [2] Zhao Y, Ito D & Mizuno K (2019). AEB effectiveness evaluation based on car-to-cyclist accident reconstructions using video of drive recorder. *Traffic Injury Prevention* 20(1): 100-106
- [3] Sun Z, Lin M, Chen W et al. (2024). A case study of unavoidable accidents of autonomous vehicles. *Traffic Injury Prevention* 25(1): 8-13
- [4] 寺尾道哉, 岡本真也, 福田悠人ら (2024). 潜在的な危険場面におけるヘッドアップディスプレイを用いた注意喚起提示法の評価 自動車技術会 2024 年春季大会学術講演会講演予稿集 文献番号 20245332.
- [5] 原田あすか, 金森等, 横井康伸ら (2024). 通信利用型運転支援システムにおける適切な自転車接近通知提示タイミングの検討 自動車技術会 2024 年春季大会学術講演会講演予稿集 文献番号 20245216.
- [6] 株式会社フォーラムエイト, UC-win/Road ドライブ・シミュレータ
<https://www.forum8.co.jp/product/ucwin/road/roa>