

一時停止行動の事後判定と評価による停止率の改善

○藤井 愛（日大生産工） 島崎 敢（防災科研）

1 背景と目的

交通事故の43%は交差点で発生しており、そのうち62%は無信号交差点で発生している¹⁾。無信号交差点で発生する事故の多くは、非優先側の車両が確実に一時停止を行うことで防げると考えられる。近年、ドライバに一時停止交差点の存在を知らせるタイプの支援について様々な研究が行われており、これらの研究成果を見ると、一時停止や交差点の存在を事前に知らせることは事故リスクの低減に一定の効果があると考えられる。一方で、例えば情報機器による情報提示が、本来ドライバが運転に割くべき情報処理資源を消費してしまい、情報取得が終了しても一定時間もとに戻らないことを指摘した研究²⁾や、リスクが低下したことがドライバに知覚されると、ドライバがリスク補償行動を取り、工学的対策の効果が想定していたほどは得られないとした理論³⁾もあり、運転支援システムにはまだ課題が多い。

一時停止が行われない原因は、交差点や一時停止標識を見落としている場合、一時停止の意志はあり、主観的には一時停止しているつもりだが、実際には停止できていない場合、そして、そもそも一時停止の意志がない場合の3つに大別できる。一時停止交差点で発生した事故の非優先側のドライバが、どの段階で失敗したのかを分析した研究⁴⁾では、交差点や一時停止標識の見落としが原因である事故は、同種の事故のうち27%であった。一方、実際には一時停止できていないのに、止まった気になっているドライバが多数いること⁵⁾、そもそも止まる気がないドライバが多数いること⁶⁾が報告されている。

一時停止交差点の存在を知らせるタイプの支援は、一時停止標識や交差点を見落としているケースでは有効だが、実際には止まっていないのに止まった気になっているドライバや、そもそも止まる気がないドライバに対しては効果が得られない。また、交差点の接近を知らせるタイプの支援は、交差点に接近時には有効であり、事故削減が見込めると考えられるが、交差点に接近していない場合や、支援システムのインフラが整備されていない交差点では、かえって一時停止率を下げる可能性がある。従って、一時停止率を上げるためには、止まったと思い込んでいるドライバに停止できていないことを気づかせたり、止まる気のないドライバを止まる気にさせたりするなど、ドライバの

運転行動が改善するような教育効果が必要であるが、一時停止交差点手前での情報提供には教育効果がない。

そこで本研究では、ドライバに対する教育効果を持った運転支援システムの開発を目指して、正しく一時停止できていたかどうかを判定し、一時停止交差点通過直後にドライバに結果を知らせる停止行動の事後判定システムを提案する。このシステムによる支援が、ドライバの一時停止行動の改善につながるかを検証することを目的として実路実験を行う。比較対象として、一時停止交差点の手前で一時停止の存在を告知する条件でも同様の実路実験を行う。

2 方法

2-1. 実験参加者

実験に参加したのは18才～64才(中央値22才)の男女27名(男性21名、女性6名)である。免許取得後経験は3ヶ月～47年の範囲(中央値22ヶ月)、年間運転日数は1日～270日の範囲であった(中央値36日)。実験参加者のうち12名を統制群に、15名を実験群にランダムに割り当てた。統制群には一時停止交差点の直前で、前方に一時停止交差点があることを知らせ(以下、事前告知)、実験群には一時停止交差点通過直後に、停止線で完全停止できていたかを判定し知らせた(以下、事後判定)。

2-2. 実験コース

実験コースは3つのセクションとセクション間の移動を含む約35kmの一般道路である。セクション1と3は同一の郊外エリア、セクション2のエリアはセクション1と3のエリアから9kmほど離れた住宅街である。セクション1と3の全長は約3.6kmで8箇所の一時停止交差点を含み、そのうち4箇所はセクション1と3で共通である。セクション2の全長は約8.5kmで15箇所の一時停止交差点を含む。いずれも通過交通車両がほとんど通らない交通量の少ない交差点である。Fig.1の両サイドと下部にはそれぞれのセクション内にある一時停止交差点の形状と実験車両の進行方向を示した。事前告知や事後判定はセクション2のみで行い、セクション1と3では運転行動の記録のみを行った。走行時間は混雑状況や運転によって変化した、80～110分程度であった。実験は日没前の日中、明るい時間に行った。

2-3. 装置

実験に用いた車両は日産セドリック(EPY33)である。実験車両のフロントグリルには停止線撮影用のワイヤレスカメラ(RF システムラボPRO5)を下向きに設置し

Improvement of Full Stop Rate
by After Judgement and Notification of Stopping Behavior

Ai FUJII and Kan SHIMAZAKI

た。また、デジタル速度計(Apex i REV/SPEED METER)と1m単位の計測が可能なデジタル距離計(ULTLA DRIVE MONITOR Model 4020)を設置した。車内には停止線撮影用カメラの映像を受信するための受信機(RFシステムラボBS-10GV)とモニタ(SONY Video Walkman GV-D900 NTSC; モニタ部分のみ使用)を設置し、路面画像、デジタル速度計、デジタル距離計を1台のビデオカメラ(三洋ザクティDMX-CG11)で撮影した。フロントガラス上部、ルームミラーの右側にはドライブレコーダ(加藤電機HORNETMGS100目撃写)を装着し、周囲の交通状況も記録した。

運転支援音声の再生にはタッチパネル式の携帯音楽プレーヤ(アップルiPod nano MC692J/A)を用いた。プレーヤで再生した音声はFM トランスミッタ(ロジックLAT-FMiS05)を用いて電波送信を行い、実験車両のカーステレオで受信して車内に流した。告知や判定の支援音声は音声合成ソフトHoya Voice textエディタで作成した女性の声の合成音声を用いた。

実験車両には実験参加者と共に2名の実験者が同乗した。実験者のうち1名は、後席でワイヤレスカメラの映像とデジタル速度計を見ながら一時停止行動の判定を行い、支援音声の再生を行った。もう1名の実験者は助手席で実験参加者に道順を指示した。

2-4. 手順

実験参加者には、普段通りの運転を心がけること、コースの指示は全て実験者が行うこと、セクション2のみで運転支援システムの電源が入れることを告げた。実験目的については新型の運転支援システムの実験であることのみを伝え、一時停止支援の実験であることは走行終了後まで伝えなかった。セクション2の開始前に、運転支援システムの電源が入れたので、支援音声が届く場合があることを伝えた。セクション2では事前告知群には「ポーン、まもなく一時停止交差点です。」という音声を一時停止交差点の手前で再生した。また、事後判定群には一時停止交差点通過直後に、ドライバの一時停止行動に基づいて、停止線

手前で完全停止していた場合は「ピンポーン、完全停止しました。素晴らしいですね。」、それ以外の場合は「ブー、一時停止ラインで完全停止しませんでした。危険です。」という音声を交差点通過直後に再生した(Fig.1中央上; ポーン、ピンポーン、ブーは電子音)。また、一時停止に特化した実験であることが実験参加者に意識され、運転行動にバイアスがかかることを避ける為に、状況や速度に応じて「歩行者に注意して下さい」、「速度超過です」、「制限速度を守っています」の3種類の音声を適宜再生した。

3 結果

セクション2は支援を行うセクションであるが、事後判定群では最初の交差点では支援が行われなかったため、セクション2の最初の交差点は両群とも分析対象から除外した。また、交通他者の存在に影響されて停止したと考えられる一時停止通過も分析から除外した。分析対象となった通過回数の平均値はセクション1で6.7回、セクション2で12.6回、セクション3で6.6回であった。また分析対象が最も少なかったケースはセクション1で5回、セクション2で9回、セクション3で4回であった。各通過回数は事前告知群、事後判定群の間に有意差がないことを確認した(セクション1: $t(25)=0.38$, $p>.05$; セクション2: $t(14.76)=1.24$, $p>.05$; セクション3: $t(25)=0.84$, $p>.05$)。

分析には最低速度、最低速度位置、総停止率、遵法停止率の4指標を従属変数として用いた。最低速度は交差点通過行動全体を通じての最も低い速度(0km/hを含む)の平均値、最低速度位置は、停止線から最低速度となった位置までの距離(停止線手前で最低速度となった場合は一律0m)の平均値である。総停止率は停止線との位置関係に関わらず、交差点通過行動全体を通じて完全停止した瞬間があった割合、遵法停止率は停止線手前での完全停止があった割合とし、いずれも分母は実験参加者ごとに分析対象となった交差点通過数とした。独立変数は群(事前告知群、事後判定群)とセク

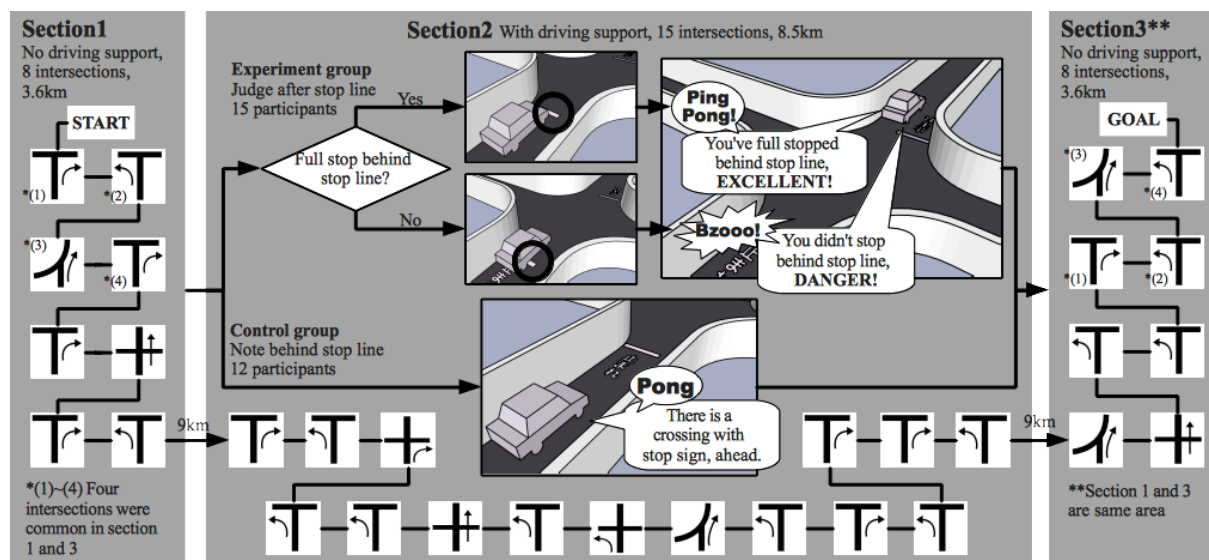


Fig.1 Sections, intersections and direction of travel, conditions of experiment and driving support

ション(1, 2, 3)である。

はじめに最低速度について2要因の分散分析を行った。その結果、セクションの主効果のみ有意であり($F(2, 50)=25.72, p<.001$)、多重比較の結果セクション1 とセクション3の間には有意差はないが、セクション2 の最低速度は他の2 つのセクションに比べて有意に遅く、事前告知、事後判定共に支援を行うことで交差点の通過速度が遅くなることが明らかとなった(Fig.2)。

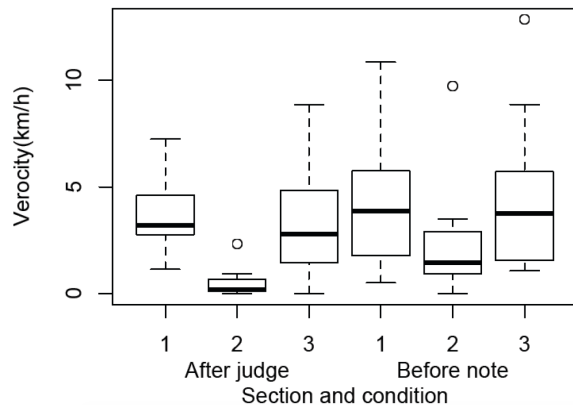


Fig.2 Minimum velocity of crossing passage

最低速度位置についても同様の分散分析を行った。その結果セクション及び群の主効果が有意であった(それぞれ $F(2, 50)=12.21, p<.001$; $F(1, 25)=6.72, p<.05$)。セクションの多重比較では、セクション1 とセクション3の間には有意差はないが、支援を行ったセクション2 の最低速度位置は、支援を行わなかった他の2つのセクションに比べて手前になることがわかった。また、実験走行全体を通じて、事後判定群の停止位置は事前告知群の停止位置よりも手前であった(Fig.3)。

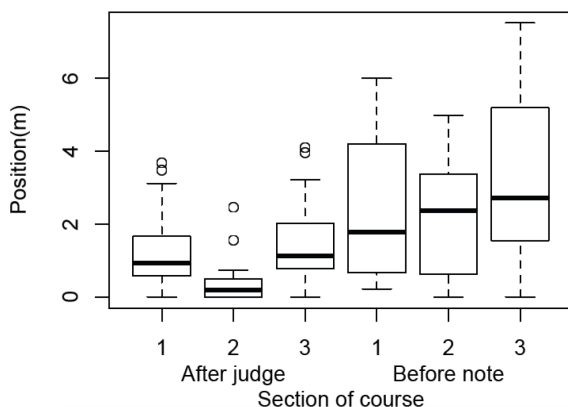


Fig.3 Position of minimum velocity from stop line

総停止率の分散分析では交互作用が有意であった($F(2, 50)=31.42, p<.001$)。多重比較の結果、事前告知群では3つのセクション間の総停止率に有意差はなかったが、事後告知群では3つのセクションの全ての組み合わせに有意差が見られ、支援を行ったセクション2の総停止率が最も高く、セクション1の総停止率が最も低かった。また、セクション1 とセクション3では群間の有

意差はなく、セクション2でのみ事後告知群の総停止率が有意に高かった(Fig.4)。

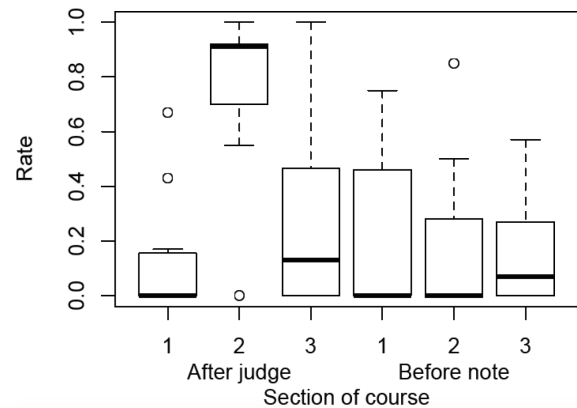


Fig.4 Rate of full stop regardless of the stop position

違法停止率の分散分析でも交互作用が有意であり($F(2, 50)=31.42, p<.001$)、多重比較の結果、事前告知群では3つのセクション間の停止率に有意差はなかったが、事後告知群ではセクション2は他の2つのセクションに比べて有意に違法停止率が高かったが、セクション1 と3の差は有意傾向にとどまった。また、セクション1 と3では群間の有意差はなく、セクション2の事後告知群の停止率が有意に高かった(Fig.5)。なお、セクション2における総停止率と違法停止率の推移をFig.6に示した。

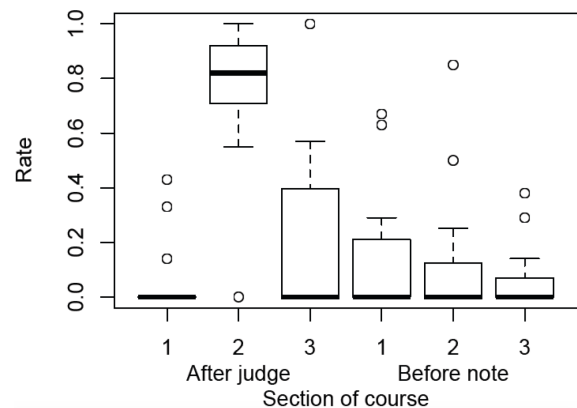


Fig.5 Rate of full stop behind stop line

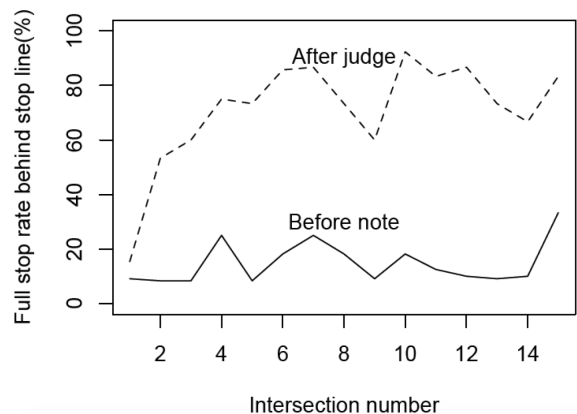


Fig.6 Vary of full stop rate on section 2

4 考察

交差点通過の最低速度と、最低速度位置の結果を見ると、事前告知、事後判定とも、支援を行うことで最低速度を低下させたり最低速度位置を手前にしたりする効果が見られたが、告知や判定をやめると効果が消失した。総停止率と遵法停止率については、事前告知ではセクション間の差が見られず、効果は見られなかったが、事後判定では顕著な効果が見られた。また、事後判定群はセクション3に入り判定がなくなると、セクション2よりは総停止率が下がったが、セクション1の水準には戻らず、効果が完全に消失しない可能性が見出された。遵法停止率でも有意傾向ではあるが同様の傾向が見られており、事後判定を受ける経験が長期間に及べば、支援が行われない環境下でも、一定期間効果が持続する可能性が示された。

事前告知による注意喚起はドライバが停止する心構えを形成するのには役立っており、その結果として最低速度が低下したり、最低速度位置が手前になったりしたと考えられる。一方、運転行動の多くは半ば無意識的に遂行されており、例えば停止線を超え、交差道路が見えるところまで出てから一時停止するといったような、自己流の一時停止行動が無意識的に遂行された場合、事前告知条件ではその評価が行われない。従って、ドライバは自分が停止線を通過してから停止していたことに気付けない。これに対して事後判定は、無意識的に行われた一時停止行動を直後に振り返って意識化する働きがあるため、自分の一時停止行動が不完全であったことに気づきやすい。同時にこの判定結果は次の交差点に対する心構えにもなっており、一時停止率改善に高い効果が得られたと考えられる。

Fig.6に示した事後判定群の停止率の推移は典型的な学習曲線であり、学習が成立していることがわかる。従って、少なくとも本研究のセクション2程度の遭遇頻度と期間の範囲であれば事後判定システムは十分な即効性と持続性を持った学習効果があると考えられる。本研究で告知や判定を行った交差点は15箇所と少なかったが、一時停止交差点を連続して通過するルートを実験コースとしたため、単位時間あたりの一時停止交差点遭遇頻度は通常の運転よりも高いと考えられる。交差点数の少なさは強化を弱める方向に、遭遇頻度の高さは強化を強める方向に作用すると考えらる。また、支援が長期間繰り返された場合には慣れによって効果が半減する可能性も考えられるため、長期間に渡り、一般的な遭遇頻度で一時停止交差点に遭遇した場合に同様な結果が得られるかどうかについては慎重な議論が必要である。

本研究で提案した一時停止通過行動の事後判定は、心理学的には自発的行動が学習されるオペラント条件づけ⁷⁾にあたると考えられる。オペラント条件づけは、自発的行動(反応)を行った直後に起きる環境の変化等(刺激)によって、その後の反応の出現確率が増減するという刺激—反応系の学習理論であり、本研究をこれに当てはめると、正しい一時停止行動が反応、一時停

止が正しく行われた際に与えられた音声「ピンポーン、完全停止しました。素晴らしいですね。」が正の強化子、一時停止が励行されなかった時に与えられた音声「ブザー、一時停止ラインで完全停止しませんでした。危険です。」が負の強化子である。正の強化子は、与えられることで反応を増加させる刺激であり、この場合、正しい一時停止できたことを知らされ、褒められるという快い刺激が、次の一時停止行動への動機となり、反応(正しい一時停止)の出現率を上昇させたと考えられる。また、負の強化子は除去されることで反応を増加させる刺激であり、一時停止できずに危険を指摘されるという不快な刺激が除去されることも、次の一時停止行動への動機となり、ドライバの行動変容へとつながったと考えられる。

オペラント反応は、反応に対して必ず刺激が与えられる連続強化で最も早く学習が進むが、反応に対して刺激が与えられたり与えられなかったりする部分強化でも学習は進み、部分強化は連続強化よりも消去が起きにくいことが知られている⁸⁾。自動システムによって運転支援を行う場合に問題となるのがその精度であり、事前の情報提示の場合、誤報や欠報が発生するとドライバはシステムを信頼しなくなると考えられる。一方、本研究で提案した運転行動の事後判定が、ドライバにオペラント反応を生起させているのだとすれば、誤報や欠報の発生は部分強化になるだけで、信頼の低下はもたらさない。さらに、学習の消去が起きにくくなるという点はむしろ利点であろう。

5 結論

一時停止交差点において、停止線手前での完全停止ができていたかどうかを判定し、交差点通過直後にドライバに知らせるシステムを提案し、評価の為に実路実験を行った。システム作動中は最低速度が低下し、最低速度になる位置は手前になり、停止率は顕著に改善した。また、総停止率については、システム停止後も効果が持続する可能性が見出された。

謝辞 NU-CARから一部資金援助を受け、本システムの実現可能性について検討中である。記して感謝する。

参考文献

- 1) G. Moan, C.M. Sargent and J.D. Embury., "Acoustic Emission in Burt Test of Rocket Motorcase", Proc, 3rd Int. Conf. Strength of Metals and Alloys (1973) p.52.
- 2) 篠原一光, 三浦利章: 車載情報機器からの情報取得後の視覚探索における持続的注意転導効果, IATSS Review, Vol.30, p42-50 (2005)
- 3) Wilde, G. J. S.: The Theory of Risk Homeostasis: Implications for Safety and Health, Risk Analysis, Vol.2, p.209-225 (1982)
- 4) 神田直弥, 石田敏郎: 出会い頭事故における非優先側運転者の交差点進入行動の検討, 交通科学協議会誌, Vol.1, p.11-22 (2001)
- 5) McKelvie, S. J.: An opinion survey and longitudinal study of driver behavior at stop signs, Canadian Journal of Behavior Science, Vol.18, p.75-85 (1986)
- 6) 松浦常夫: 運転者の記述に基づく交通違反理由の基礎的分析, 科学警察研究所報告交通編, Vol.24, p.97-101(1983)
- 7) Skinner, B. F.: Science and human behavior, New York,: Macmillan, 1953, 461p. 河合伊六郎訳, 二瓶社, 2003, 540p
- 8) Humphreys, L. G.: Acquisition and extinction of verbal expectations in a situation analogous to conditioning, Journal of Experimental Psychology, Vol.25, p.294-301 (1939).