

車線変更時の後方死角検知装置の警報音の評価

貝塚勉*¹ 黄黎*¹ 下平真武*² 稲垣勝利*² 中野公彦*¹

東京大学*¹

パイオニア株式会社*²

手動運転中にドライバが車線変更を行うとき、死角に他車が存在することをドライバに提示する警報音の有効性を評価するため、ドライビングシミュレータ実験を行った。評価対象の警報音は、他車が死角に存在するのが右後方か左後方かという方向性まで知らせる警報音と、そのような方向性に関わる情報を含まない警報音の 2 種類である。また、自動運転から手動運転へ遷移後における警報の効果も評価した。

Evaluation of blind-spot warning sound during lane change

Tsutomu Kaizuka*¹ Huang Li*¹ Manabu Shimodaira*² Katsutoshi Inagaki*² Kimihiko Nakano*¹

The University of Tokyo*¹

Pioneer Corporation*²

Blind spot monitors (BSMs), which inform a driver about the existence of the other vehicle at a blind spot, are installed on a driving simulator to evaluate their effectiveness during manually performing a lane change. The investigated BSMs are two: one is able to tell the directional information, i.e., in which direction (left or right) the other vehicle exists; and the other is merely tells the existence of the other vehicle without conveying any directional information. The case after the transition from the automated driving to the manual driving is also investigated in this experiment.

Keyword: blind spot, warning sound, auditory lateralization

1. 緒言

死角における他車の存在を教えてくれるシステム (blind spot monitor : BSM) が既に市販車に搭載されている。システムが死角の他車を検知すると、そのことをドライバに知らせるべく、サイドミラーに視覚的な表示を出したり、スピーカで音を鳴らす。他車が存在する方向のサイドミラーに視覚的な表示を出すことで、左右のどちらに他車がいるのかをドライバに知らせることができ、そのような BSM が既に市販されている。このように、他車の存在の有無だけではなく、その方向まで知らせることは、ステ

レオスピーカを用いて聞こえる音に方向性を持たせれば、容易に実現できる。本研究では、ステレオスピーカで他車の方向を知らせる BSM の有効性を検討するべく、このようなシステムをドライビングシミュレータ (DS) に実装し、被験者実験を行った。すなわち、方向性を持たない通常の警報音 (以下、通常音という) と、上記の方向性を持つ警報音 (以下、移動音という) との比較が、本研究の主たる目的である。

本研究では、手動運転中のドライバが自分の意思で車線変更を行う場面を対象に、通常音と移動音の

比較を行う。ただし、ずっと手動運転をしていたときの車線変更なのか、それとも、いちど自動運転をしていたが手動運転に切り替わってからの車線変更なのかという観点からも、比較を行う。また、左への車線変更か、右への車線変更かという観点からも、比較を行う。すなわち、本研究で取り扱うのは、警報音の方向性（通常音、移動音）、自動運転から手動運転への切替（切替なし、切替あり）、車線変更の方向（左、右）の3因子実験である。評価指標としては、車線変更への不安感に関わる主観評価と、警報音を聞いてからサイドミラーを目視するまでの反応時間、心拍とする。なお、危険対象と警報音の方向が一致すると、反応時間が短くなるという報告があり⁽¹⁾、したがって、通常音よりも移動音において反応時間が短いことが期待される。

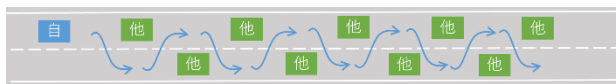


Fig.1 Driving scenario.



Fig. 2 Driving simulator equipped with the left and right headrest-speakers.

1. 方法

1-1 被験者

実験に参加した被験者は、8名の男性の被験者である。年齢は、平均22歳（標準偏差0.9）である。

1-2 DS と運転シナリオ

実験に用いたDSは、140度の視野角をカバーする前方スクリーン、6自由度の動揺装置を備えたものである。運転席後方のスピーカからエンジン音やロードノイズといった環境音や自動運転から手動運転への切替の報知音（後述）を再生する。

実験に用いたコースは、図1に示すような片道2車線の直線の高速道路である。自動運転から手動運

転への切替があるシナリオでは、走行開始後2分間は自動運転とした。自動運転では左車線を維持しながら80km/hで走行する。また、自動運転中にドライバの運転への注意が削がれている状態を模擬するべく、自動運転中にはドライバに1-backという副次タスクを課した。1-backとは、0から9までの数字を4秒間に1回の頻度でランダムに音声で提示し、いま提示された数字より1つ前に提示された数字を口頭で答えるというタスクである。走行開始から2分後、自動運転から手動運転へ切り替わる。切替の10秒前には報知音が鳴り、ドライバに手動運転の準備を促し、また、切替の瞬間には別の報知音が鳴り、ドライバに手動運転の開始を促す。手動運転の際には、できるだけ80km/hで走ること、先行車が遅ければ車線変更をして80km/hを維持すること、速度を維持する目的以外で車線変更をしないことをドライバには事前に指示した。図1に示すように、コース上には複数の他車が走行しているが、自車の車線変更を促すべく、自動運転から手動運転に切り替わると、自車の目の前の他車が減速するようにプログラムを組んだ。すなわち、減速した先行車を避けて80km/hを維持するべく、自車は車線変更をする。ただし、いちど車線変更をしても、こんどは変更先の車線における先行車が減速を始めるようにプログラムを組んでいるので、自車は再び車線変更を促される。このようにして、自車に車線変更を繰り返させるというシナリオを用意した。そして、何回目かの車線変更のときに、自車の死角に他車が突然出現する（死角に他車を瞬間移動させるプログラムを組んだ）。また、この実験がBSMに関するものであることはドライバに事前に説明しており、BSMの警報音が鳴ったら、無理に車線変更をすると死角の他車に衝突してしまうし、かといって車線変更をせずに速度を維持すると減速中の先行車と衝突してしまうので、車線変更をせずに減速をし、他車が死角から出たことを確認したら（自車が減速すると、死角の他車は加速して死角から出て遠くへ行き去るよう、プログラムを組んだ）、車線変更をして80km/hに速度を回復するよう、事前に教示した。

一方、自動運転から手動運転への切替がないシナリオでは、走行開始後の2分間が自動運転から手動運転に置き換わること以外は、前述の切替があるシナリオと同じである。走行開始後2分間は、手動運転であっても先行車は減速しない。つまり、この間、自車は左車線を維持して走るだけであり、車線変更を行わない。

1-3 警報音

警報音を再生するスピーカは、図 2 に示すように運転席のヘッドレストの左右に取り付けた。死角に他車が存在する状態で方向指示器を ON にすると、警報音が再生される。警報音は、再生時間が 0.9 秒の効果音だが、その音を左右のスピーカから同じに再生して音に方向性を持たせないものが通常音、ステレオを利用して音に方向性を持たせたものが移動音である。

1-4 実験計画と実験手順

実験の内容について被験者に説明し、インフォームドコンセントを得た（また、本実験は東京大学の倫理審査を受け、承認を得ている）。性別や年齢などの質問票を記入後、DS の運転席において視線計測と心拍計測のための校正・準備を行った。被験者は、本実験とは別の BSM に関する DS 実験⁽²⁾を行い（警報の種類が本実験と異なるが、コースや運転シナリオなどの実験条件は本実験と同じ）、それから本実験を行った。運転シナリオの説明の後、運転席に座り運転をしない状態で通常音と移動音を体験させた。そして、運転後に回答する質問票（後述）の説明の後、実験を行った。

実験計画としては、対応ありの 3 因子実験である。表 1 に示すとおり、3 つの因子とは、警報音の方向性（通常音、移動音）、自動運転から手動運転への切替（切替なし、切替あり）、車線変更の方向（左、右）であり、いずれの因子の水準も 2 つである。つまり、各被験者は、これらの 8 条件を 1 回ずつ体験した。順番効果を抑制するため、カウンターバランスとなるよう条件提示順を設定した。1 回の運転が終わるたび、被験者は質問票に回答した。

1-5 評価指標

各条件での運転終了後、質問票への記入による主観評価を行った。質問項目は複数あるが、本論文では、車線変更を行うことに対する不安感についての評価結果について分析する。全く不安でなければ 0 点、とても不安なら 8 点とし、9 段階で評価した。

また、方向指示器を ON にしてから（警報音の再生が開始してから）サイドミラーを見るまでの反応時間を計測した。この視線計測は、Smart Eye Pro を用いて行った。

また、心拍を計測し、緊張状態を検出した。検出方法としては、180 秒間の平均心拍数よりも 10 秒間の平均心拍数が高く、かつ、180 秒間の平均心拍数よ

りも 60 秒間の平均心拍数が高い場合に、一過性緊張が励起されたと判断した。なお、方向指示器を ON にしてから（警報音の再生が開始してから）車線変更を完了するまで（後輪軸の左右中心が車線境界線を越えるまで）の時間における心拍を対象に、上記の分析を行った。

Table 1 Factorial design

切替	なし				あり			
	右		左		右		左	
警報	通常	移動	通常	移動	通常	移動	通常	移動
条件	1	2	3	4	5	6	7	8

2. 実験結果

まず、車線変更を行うことに対する不安感についての結果を箱ひげ図で示すと、図 3 になる（横軸の条件番号は表 1 のそれに対応している）。フリードマン検定を行ったところ、有意ではなかった（ p 値 = 0.676）。図 3 に示されるように、記述統計的にも不安感に顕著に影響しそうな因子は見られなかった。

続いて、方向指示器を ON にしてから（警報音の再生が開始してから）サイドミラーを見るまでの反応時間についての分析結果を述べる。警報音を聞いた後の被験者の視行動としては、3 つのパターンがあった。1 つ目は、サイドミラーを目視してから、ブレーキペダルを踏んで減速し、死角の他車をやり過ごす（前述のとおり、自車が減速すると、死角の他車は加速して死角から出て行く）というパターン。2 つ目は、サイドミラーを目視せずにブレーキペダルを踏んで減速し、死角の他車をやり過ごしてから、サイドミラーを目視し、車線変更を行うというパターン。3 つ目は、警報音の再生が開始してから 1000 サンプル以内（8.3 秒以内）にサイドミラーの目視が確認されなかったパターンである。本論文では、1 つ目のパターンを分析対象とする。すなわち、警報音を聞いてからまずはサイドミラーで後方を確認するという反応時間に注目し、分析を行う。8 つの条件によって 8 人中何人が当該パターンに含まれるかが異なるが、それぞれ得られた人数での平均値をまとめると、表 2 になる。また、この平均値を図示すると、図 4 になる。移動音と通常音を比べると、自動運転から手動運転への切替がなく、かつ、左への車線変更の場合は例外として、それ以外の場合には、移動音のほうが通常音よりも短い反応時間となった。

緊張が励起された確率（8人中何人で緊張が励起されたか）を表にまとめると、表3になる。コクランのQ検定を行ったところ、有意ではなかった（ p 値=0.660）。

Table 3 Excitation probability of a state of tension.

条件	1	2	3	4	5	6	7	8
確率 (%)	37.5	37.5	25.0	12.5	25.0	25.0	50.0	12.5

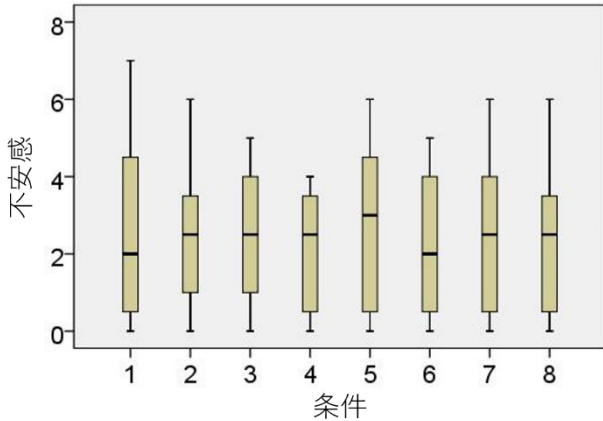


Fig. 3 Anxiety feeling about performing the lane change.

Table 2 Number of participants classified into the first pattern of the gaze behavior and the mean value of the response time for these participants.

条件	1	2	3	4	5	6	7	8
人数	4	2	4	4	4	6	4	3
平均 (秒)	1.83	1.59	1.33	1.69	1.27	1.10	1.59	0.87

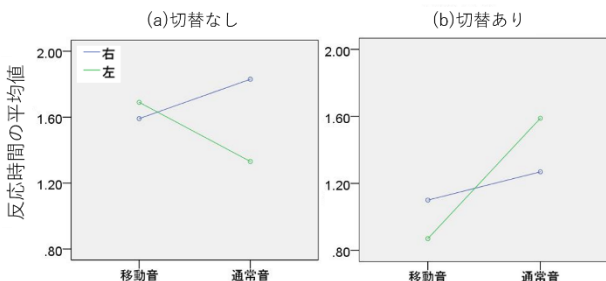


Fig. 4 The mean value of the response time for the participants classified into the first pattern of the gaze behavior.

3. 結言

本研究では、ステレオスピーカで死角の他車の方向を知らせる BSM の有効性を検討するべく、DS 実験を行った。手動運転中のドライバーが自分の意思で車線変更を行う場面を対象とした実験だが、ずっと手動運転をしていたときの車線変更なのか、それとも、いちど自動運転をしていたが手動運転に切り替わってからの車線変更なのかという観点で場合分けをして、実験を行った。また、左への車線変更か、右への車線変更かという観点からも場合分けをした。つまり、本実験は、警報音の方向性（通常音、移動音）、自動運転から手動運転への切替（切替なし、切替あり）、車線変更の方向（左、右）の3因子実験である。

車線変更を行うことへの不安感について質問票調査を行ったところ、不安感に顕著に影響しそうな因子は確認されなかった。

警報音が再生されてからサイドミラーを目視するための反応時間を計測したところ、自動運転から手動運転への切替がなく、かつ、左への車線変更の場合は例外として、それ以外の場合には、移動音のほうが通常音よりも短い反応時間となった。

心拍を計測して緊張状態を推定したところ、緊張状態に顕著に影響しそうな因子は確認されなかった。

ただし、本実験は被験者が少なく、結論を導くには追加の実験が必要である。

文献

- (1) C. Ho and C. Spence, Assessing the effectiveness of various auditory cues in capturing a driver's visual attention, *Journal of Experimental Psychology* 11(3), 157-174, 2005.
- (2) 黄黎ほか, 車線変更時のブラインドスポットモニタリングの提示する手法と検討, 第15回 ITS シンポジウム, 2017.