

# テンポの異なる警告音が擬似運転装置使用者の 反応時間へ与える影響

廣川雄志 (理工学研究科感性デザイン工学専攻)

長 篤志 (創成科学研究科電気電子情報系専攻)

## Influence of alarm beep sounds with various tempos on reaction time of driving simulator users

Yuji Hirokawa (Graduate School of Science and Engineering)

Atsushi Osa (Graduate School of Sciences and Technology for Innovation)

**Abstract:** Right before a car accident, can an effective warning beep that informs about the emergency make the drivers notice it in a shorter reaction time? A previous study reported that an intermittent beeps sound of 128 BPM could shorten the observers' reaction times to notice black circles on a white computer screen compared to the reaction times in the case of 80 BPM. However, this knowledge can not necessarily be introduced to automobile safety because the previous study did not give the subjects any other task except for the task in which the reaction time was measured. In this study, we focused on the tempo and duration of intermittent beeps, and our purpose was to confirm the effect of the beeps on the reaction time in observers using a simple driving simulator. Results showed that intermittent beeps could not affect the reaction time significantly independent of the tempo compared to a single beep sound. It was the same result even if the duration was increased. We thought that the tempo or the duration do not relate to the reaction time when the drivers are well awake. In order to make an effective warning beep for automobile safety, we must pay attention to the drivers' wakefulness.

**Key Words:** reaction time, tempo, simulator, beep sound

### 1. はじめに

自動車は必需品であるが、これは人々の暮らしを豊かにする一方で、大きな事故を引き起こすことが問題となっている。日本での年間交通事故件数は499,201件(2016年)<sup>1)</sup>であり、ピーク時の952,720件(2004年)と比べると減少しているものの、まだまだ多い。

このような現状から、自動ブレーキシステムや、運転支援システムの研究、開発<sup>2)</sup>が数多くされている。しかしながら、自動車運転のすべてをシステムに任せることは困難が多い。稲垣ら<sup>3)</sup>も述べるとおりシステムへの過信はできず、運転支援システムによる判断にすべてを委ねることは難しい。あくまでシステムは事故を未然に防ぐ最後の砦であり、運転

者自身が道路状況を認知、判断し、事故を防ぐことも大切である。

本研究では、自動ブレーキシステムや、運転支援システムが何らかの危険となる状況を察知した際に、運転者へその情報を知らせる警告音に着目した。最終的にシステムがハンドルの操作や緊急ブレーキを作動させる前に、適切な警告音を使用することによって反応時間が短縮できるのであれば、事故発生のリスクを軽減することはできるのではないだろうか。

松田ら<sup>4)</sup>は、単純な視覚刺激が提示される反応時間実験において、聞いている音のテンポが反応時間に影響を及ぼすことを報告している。テンポの速い単音と遅い単音を聴取した場合、何も聞かない状況や中程度のテンポの単音の聴取状況と比べると有意

に反応時間が短くなっていた。しかし、反応時間のみを計測する実験課題は実際の運転状況とは異なっており、自動車運転操作をしながら反応時間を計測した場合に同様の結果が出るかはわからない。

そこで本研究では、簡易なドライビングシミュレータを操作する状況において視覚刺激への反応時間を測る実験をおこない、テンポの異なる警告音を聴取して運転中の反応時間を短縮することができるかどうかを明らかにすることを目的とした。

## 2. 実験 1：擬似的運転状況下における継続的警告音による反応時間への影響

### 2.1 目的

音響刺激と反応時間測定刺激に関しては、先行研究<sup>4)</sup>で行われた実験を再現した。その上で、実験参加者に簡易なドライビングシミュレータ操作を課し、音響刺激の提示が反応時間に影響を与えるかどうかを明らかにすることを目的とした。

### 2.2 実験方法

4(音響刺激のテンポ)×5(ターゲット刺激の偏心度)の2要因参加者内計画の要因計画をたてた。音響刺激要因は、音響刺激なし、80BPM、80BPM+60%(128BPM)、80BPM-60%(32BPM)の4水準、ターゲット刺激要因は、偏心度、4度、8度、12度、16度、20度の5水準であった。

視覚刺激及び課題の提示には、FLATRON E2241 (LG電子、サイズ:21インチ、解像度:1920×1080ピクセル)を用いた。視覚刺激提示、音響刺激提示、反応時間測定にはプログラミング言語 Processing を用いた。音響刺激の聴取には、ヘッドフォン(Audio Technica, ATH-SJ55)を使用した。

実験環境を Figure 1 に示す。視距離 45cm、高さ 120cm で観察距離を固定するため、顎台を使用した。

音響刺激となるビーブ音はフリー音楽ソフト Audacity で作成された。約 850Hz の正弦波であり、先行研究<sup>4)</sup>と同じ音とした。

反応時間測定用の視覚刺激も先行研究<sup>4)</sup>に準拠した。画面中心で直交する 45 度に傾いている 2 本の仮想軸上で、偏心度が視角 4 度、8 度、12 度、16 度、

20 度となる位置に、直径 1.2 度の黒色の輪をプレイスホルダとして提示した。反応時間測定用のターゲットとして、プレイスホルダのいずれかに直径 1 度の黒色の円を呈示した。

反応時間測定用刺激の背後には、黒色で道路を模した画像を提示した。

視覚刺激画面を Figure 2 に示す。画面では、簡易ドライビングシミュレータとして、道路画像のセンターラインとポールが奥から手前への流れるように見せた。また、画面中央から下へ視角 10 度の位置に約 5 度の大きさで走行速度を示す数字を提示した。これは、画面中央を注視中に周辺視野でも確認可能な位置、大きさとして設定した。



Figure 1 Experiment environment

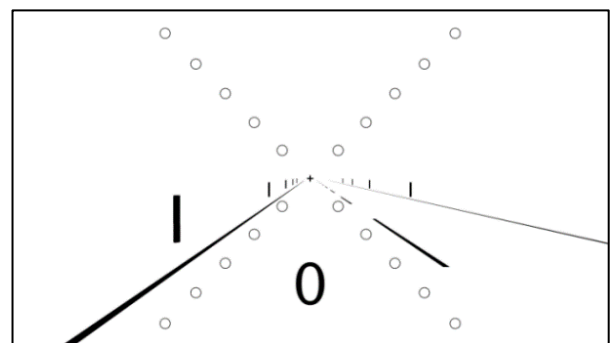


Figure 2 Experimental stimulation

ドライビングシミュレータにおける作業として、実験者が実験中 5 試行ごとに予めランダムに設定した 30km/h から 60km/h の間の走行速度を実験参加者へ口頭で指示し、実験参加者はキーボード操作で指示された走行速度への調整と維持する作業をおこなった。キーボードの Shift キーがアクセル(速度上

昇), Ctrl キーがブレーキ (速度減少) として設定した。ただし, 何もキーを押さえていない状況では, 走行速度が1秒ごとに約2km/h ずつ低下するようになっていた。キーの操作は左手でおこなった。

実験の前に実験方法や操作方法, ならびに実験中は画面の中心の+図形を注視することを教示した。また, 速度調節操作ならびにターゲット発見時のマウスクリックの練習をおこなった。

ドライビングシミュレータ作業下において, 音響刺激ありもしくは音響刺激なしの時間を12000ms 取り, 300~2400ms のランダムな遅延時間 (無音) の後, ターゲットを提示した。実験参加者はターゲットを発見したら右手でマウスボタンをクリックした。ターゲットが提示されてからクリックするまでの時間を反応時間とした。

以上の作業を20試行ずつ行う実験を, 音響刺激ありの3条件と音響刺激なし1条件の計4回行なった。

視覚及び聴覚ともに正常な大学生, 大学院生20名 (男性17名, 女性3名) が参加した。平均年齢は22.8歳であった。

カウンターバランスをとるため, 音響刺激あり, なしの4条件の実験順序は実験参加者毎にランダムとした。

### 2.3 結果と考察

音響刺激条件毎の反応時間に関する結果を Figure 3 に示す。テンポと偏心度について2要因分散分析を行い, 下位検定として Bonferroni 法による多重比較をおこなった。分散分析の結果, テンポ要因の主効果が有意となった ( $F(3, 57)=8.923, p<.01$ )。偏心度要因, ならびに交互作用は有意ではなかった (偏心度:  $F(4, 57)=1.748, p=.148$ , 交互作用:  $F(12, 228)=1.295, p=.222$ )。

多重比較の結果, 音響条件について有意差を持ったものは, 音響刺激なしと80BPM+60% ( $p<.001$ ), 音響条件なしと80BPM ( $p<.05$ ), 音響条件なしと80BPM-60% ( $p<.002$ ) の3ペアであった。

実験結果の示す反応時間は, 先行研究<sup>4)</sup>と比べ倍以上に遅くなっていた。これは, 道路走行画像や速度情報を提示したことや自動車速度調節作業が影響

していると言える。ターゲット提示用の刺激だけが画面に存在する先行研究<sup>4)</sup>とは異なり, 実験中は注視点を注視しているとはいえ, 実験参加者の注意のリソースが分散し, 反応時間が遅れたと考えられる。このことより, 使用した簡易ドライビングシミュレータは, 参加者に負荷を掛けるという意味で効果があったと言える。

一方で先行研究<sup>4)</sup>において報告されていたテンポ条件の違いによる反応時間の差は現れなかった。この理由として, ドライビングシミュレータにおける自動車速度調節作業が実際の運転状況よりも煩雑すぎたことの影響を考えることができる。対向車や歩行者がいない環境において, 実際の自動車運転中の反応時間を調べた研究<sup>5)</sup>で報告された平均的な反応時間が400ms 程度であったのに対し, この実験ではどの条件においても60ms 以上遅かった。

実験1ではドライビングシミュレータにおける走行速度を一定に保つために, アクセルの役割である Shift キーを断続的に押さえたり離したりする必要があった。常にこの動作を左手で行い続けるという作業が過剰な負荷となっている可能性がある。警告音のテンポに関する影響を確かめるためには, 適切な負荷において反応時間を計測する必要があるといえる。

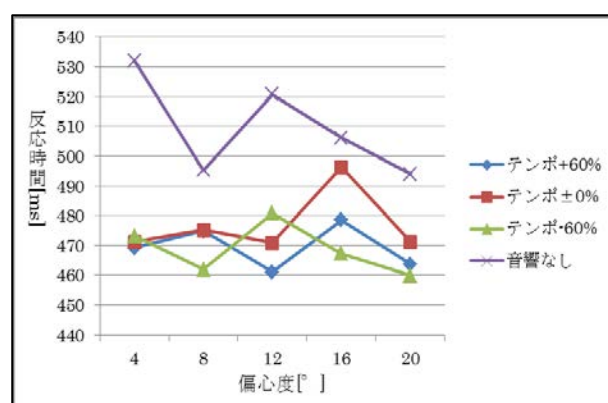


Figure 3 Reaction time (Expt. 1)

## 3. 実験2: 継続的な警告音のテンポが反応時間に及ぼす影響

### 3.1 目的

実験1では, ドライビングシミュレータにおける

速度調節作業が煩雑すぎるという問題が指摘できた。

また、実験1において音響刺激の有無によって反応時間に差が出ていたが、警告音を継続して聞いていたことの影響なのか、一度だけの警告音を聞いた後、無音であっても同様の結果となるのかが不明であった。

そこで実験2では、これらの問題点を改善した上で、同様の反応時間を測定する実験を行うことにより、警告音の継続やテンポが反応時間に及ぼす影響について検討する事を目的とした。

### 3.2 方法

実験1と同様に4(音響刺激のテンポ)×5(ターゲット刺激の偏心度)の2要因参加者内計画であった。音響刺激、視覚刺激ともに実験1と同様のものを使用した。

装置、刺激材料、簡易ドライビングシミュレータ画面ともに実験1と同様のものを使用した。ただし、マウスカーソルの位置で速度調節を行うよう、自動車速度調節方法を変更した。画面の上側へマウスカーソルを移動させると速度が徐々に上昇し、下側へマウスカーソルを移動させると速度は下降した。そして、中央付近にマウスカーソルを維持することにより一定の速度となるようにした。ただし、マウスカーソルは可視化せず、実験参加者には画面の速度変化からマウスカーソルの位置を推測してもらった。変速時にマウスを移動させるが、一定速度になればマウスを移動する必要がないため、実験1と比較して作業負荷は低下したと言える。実験2においても、実験1と同様に実験者は実験参加者へ5試行ごとに速度変更の指示をした。

また、実験2では音響刺激の提示方法を変更した。音響刺激条件によらず、まず10秒間の無音時間を設け、その後、音響刺激なし条件においても一度だけ警告音を鳴らした。引き続き、音響刺激あり条件では5秒間音響刺激を提示し、音響刺激なし条件では5秒間無音時間を設けた。次に、300~2400msのランダムな遅延時間後、プレイスホルダを塗りつぶしたターゲットを提示し、反応時間を計測した。このと

き、音響刺激あり条件では、反応までの時間も引き続き音響刺激を提示しつづけた。その後、次の刺激を提示する前のマスク刺激を提示する流れとした。実験1と比較して音響刺激の提示時間が短い、これは実際の運転場面において、先行研究<sup>4)</sup>のように12秒前から衝突回避の警告を発することは困難であると判断したからである。

以上の作業を20試行ずつ行う実験を、音響刺激ありの3条件と音響刺激なし1条件の計4回おこなった。

参加者は、視覚聴覚ともに正常な大学生・大学院生14名(男性11名女性3名)が参加した。平均年齢は23.3歳であった。

カウンターバランスをとるため、音響刺激あり、なしの4条件の実験順序は実験参加者毎にランダムとした。

### 3.3 結果と考察

各実験条件の反応時間をFigure 4に示す。テンポと偏心度について2要因分散分析をおこなった結果、偏心度要因( $F(4, 52)=1.199$ ,  $p=.322$ )、テンポ要因( $F(3, 39)=2.028$ ,  $p=.126$ )、交互作用( $F(12, 156)=1.610$ ,  $p=.94$ )のいずれも有意ではなかった。

実験1では、先行研究<sup>4)</sup>で見られた音響刺激のテンポによる反応時間への効果が見られなかった理由として、自動車速度調節作業の煩雑さがあるのではないかと予想した。実験2では、反応時間の平均値が実験1と比べると短くなっていた。これは、課題作業の難易度の低下が反応時間に現れことと、ターゲットが出るまでの待ち時間が短くなったことの影響であると考えることができる。

一方で、自動車速度調節作業の難易度を下げたが、音響刺激のテンポの違いが反応時間の違いに現れることはなかった。また、一度だけ警告音を提示しその後音響刺激を継続しないという音響刺激なし条件は、いずれの音響刺激あり条件に対しても反応時間の差異が見られなかった。

このような結果となった理由として、先行研究<sup>4)</sup>や実験1と比較すると、音響刺激の聴取時間が半分

以下と短かったことが原因の一つとして否定できない。音響刺激の継続時間が反応時間へ及ぼす影響を調べる必要がある。

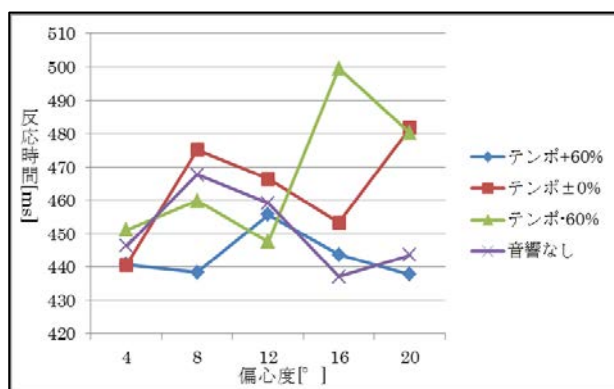


Figure 4 Reaction time (Expt. 2)

#### 4. 実験 3：警告音継続時間が反応時間へ及ぼす影響

##### 4.1 目的

音響刺激の提示時間を増加した際の反応時間への影響を検討することを目的とする。

##### 4.2 方法

4(音響刺激のテンポ)×5(ターゲット刺激の偏心度)の2要因参加者内計画であった。

実験装置, 刺激材料, ドライビングシミュレータについては実験2と同様であった。

実験手続きも, 実験2とほぼ同様におこなったが, 刺激の提示方法を一部変更した。まず5秒間の無音時間の後, 音響刺激なし条件においても一度だけ警告音を鳴らした。その後, 音響刺激あり条件では12秒音響刺激を提示し, 音響刺激なし条件では12秒間無音時間を設けた。次に, 300~2400msの遅延時間後プレースホルダを塗りつぶしたターゲットを提示し, 反応時間を測定した。このとき, 音響刺激あり条件では, 遅延時間から反応までの時間も音響刺激を提示しつづけた。その後マスク刺激を呈示する流れとした。

参加者は, 視覚聴覚ともに正常な大学生・大学院生10名(男性8名女性2名)であった。平均年齢は22.6歳であった。

#### 4.3 結果と考察

各実験条件の反応時間を Figure 5 に示す。テンポと偏心度について2要因分散分析をおこなった結果, 偏心度要因 ( $F(4, 40)=1.210, p=.322$ ), テンポ要因 ( $F(3, 30)=1.417, p=.257$ ), 交互作用 ( $F(12, 120)=.576, p=.858$ ), いずれも有意ではなかった。この結果より, 音響刺激の継続時間を長くしても反応時間への影響はないと言える。

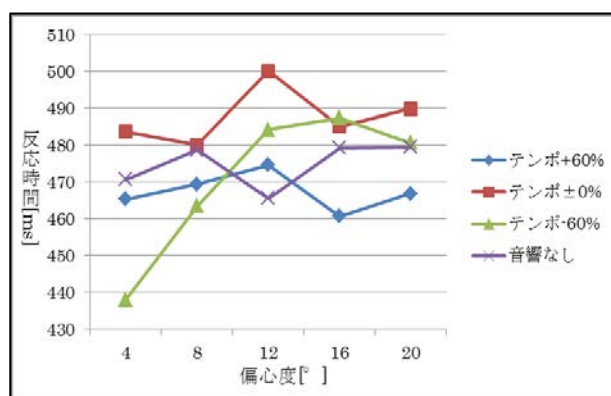


Figure 5 Reaction time (Expt.3)

#### 5. 結論

##### 5.1 総合考察

本研究の結果では, 平均的な反応時間が先行研究<sup>4)</sup>と比べると倍以上に遅くなっていた。牧下ら<sup>5)</sup>は, 運転中における心理的負荷による反応時間の遅れを報告している。反応時間が遅くなったのは, 視覚刺激が変化していることと, 自動車速度調節作業をおこなったことの影響であり, 本研究ではこのような状況下において警告音が反応速度へ及ぼす影響を調べることができていたといえる。

実験1から3を通して, 警告音のテンポの違いによる反応時間への影響が顕著ではなかった。また, 警告音の断続的な提示の有無やその継続時間を変化させても反応時間への影響は見られなかった。先行研究<sup>4)</sup>では, テンポの速い音を聴取することにより, 交感神経優位になって反応時間が速くなるのではないかと考察していた。吉岡らの報告<sup>6)</sup>でも, 交感神経優位が反応時間を高めるという記述がある。ドライビングシミュレータにおける作業をおこなって注意が分散し, 心的負荷が増加して反応時間が遅くな

った中においては、速いテンポの音響刺激聴取によって交感神経が優位になっても反応時間の短縮が顕在化しにくいと考えることができる。また、ドライビングシミュレータを操作するという作業が交感神経を亢進し、音響刺激による影響を起りにくくしているとも考えられる。

以上のように、本研究では、警告音を継続したり、テンポを調節したりすることによって、警告事態発生時における自動車運転者の反応時間を短縮させるという試みには否定的な結果となった。ただしこの実験では、実験参加者に対し頻繁にターゲットへの反応を要求しており、ある程度覚醒度が高い状態での結果であると言えることができる。実際の自動車運転中において、運転者はいつもそのような状態であるわけではない。先行研究<sup>4)</sup>で報告されているように、単調な視覚刺激においては音響刺激のテンポの影響があることが示されている。また、実験1から3を通して、速いテンポの音響刺激条件ではターゲット刺激の偏心度によらず安定した反応時間であった。よって、実際の運転状況下において反応時間に対する音響刺激の継続時間やテンポの効果を全く否定するものでない。覚醒度が低下した状況を想定して最適な警告音提示方法の研究をおこなう事は、価値があるものとする。

また、先行研究<sup>4)</sup>ではメロディのある楽曲においても音響刺激の反応時間に対する効果が確認されていた。BGMなどの楽曲聴取の効果に関しては、佐藤らの報告<sup>7)</sup>や阿部らの報告<sup>8)</sup>などがある。警告音のように一過性で聴取させるのではなく、運転の平常時から聞いている音響刺激が運転者の反応時間に与える影響を考えることにも意味があるといえる。

## 5.2 まとめ

本研究では、警告音を適切に選択することによって運転手の反応時間を短縮することができるのではないかということを考え、音響刺激が疑似的運転環境下における反応時間に及ぼす影響の研究をおこなった。本研究の実験では、警告音のテンポや継続時間の操作による反応時間への影響がなかった。この理由の一つとして、注意の分散が反応時間の遅れを

もたらし、警告音による反応速度の向上を顕在化させにくくしたことが考えられた。また、疑似的運転課題を行っている状況下においては、実験参加者の交感神経がすでに亢進していたため、警告音の継続による交感神経の亢進効果が現れにくかったとも考えられた。

今後の課題としては、覚醒度を操作した上で警告音に対する反応時間に関する知見を得ることがあげられる。また、楽曲などの単調でない音響刺激の効果についても考慮する価値があると考えられる。

## 謝辞

実験刺激に関するアドバイスをいただいた北九州市立大学大学院教授の松田憲先生に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 交通事故総合分析センター. 交通事故発生状況. [http://www.itarda.or.jp/situation\\_accident.php](http://www.itarda.or.jp/situation_accident.php) (参照 2018-01-26)
- 2) 田中雅樹, 平岡敏洋, 武内秀平, 熊本博光, 泉達也, 畑中健一. 衝突回避減速度に基づく前方障害物衝突防止支援システム. 自動車技術学会論文集. 2009, 40(2), p. 553-559.
- 3) 稲垣敏之. 運転支援システムへの過信と依存. 電子情報通信学会技術研究報告. 2010, 110(242), p. 21-24.
- 4) 松田憲, 熊本祐大, 一川誠, 河原純一郎. テンポの異なる音の聴取が視覚刺激への反応時間に与える影響. 日本認知心理学会第13回大会論文集. 2015, p. 23.
- 5) 牧下寛, 松永勝也. 心理的負荷が運転中の反応時間に与える影響. 人間工学. 2005, 41(4), p. 228-236.
- 6) 吉岡隆宏, 松木裕二, 森周司, 植草理. 自動車運転中の覚醒状態と反応時間に関する基礎研究. 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理. 2007, 107(369), p. 131-136.
- 7) 佐藤秀司, 熊丸康一, 宮國博光, 宇佐川毅, 江端正直. 聴覚刺激受聴時における視覚・運動連携に対する抑制効果について. 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響. 2002, 102(264), p. 13-18.
- 8) 阿部麻美, 新垣紀子. BGMのテンポの違いが作業効率に与える影響. 日本認知科学大会発表論文集. 2010, 74, P3-47.

(平成30年1月26日受理)