

## 音声対話の運転への影響評価法の開発

小島 真一<sup>†</sup> 本郷 武朗<sup>†</sup>  
星野 博之<sup>†</sup> 内山 祐司<sup>†</sup>

音声対話の運転への影響を評価する方法を開発した。反応時間を計測し、反応遅れの割合を指標とする。反応時間計測は[刺激-検出-確認-判断-操作]のプロセスが含まれるように工夫した。実車実験の結果から本評価法は反応時間の平均値を指標をする方法よりも検定能力が高いことを示すとともに、反応遅れを解析することで音声対話の改善に役立つ情報が得られることを示す。

### Development of an Evaluation Method for Verbal Interface in Driving

SHIN'ICHI KOJIMA,<sup>†</sup> TAKERO HONGO,<sup>†</sup> HIROYUKI HOSHINO<sup>†</sup>  
and YUJI UCHIYAMA<sup>†</sup>

This study proposes an evaluation method for verbal interface in driving. In this method, reaction time is measured and the rate of delayed reaction time is used as an index. We have designed a new reaction time test procedure for this method, including stimulus, perception, attention, selection and action process. From the result of a real car experiment, we indicate that our method has better examination ability than using an average of reaction time as an index, and that we can obtain the useful information to improve the verbal interface by analyzing delayed reaction time.

#### 1. ま え が き

近年、カーナビなどの車載情報機器が増加しており、音声によるインターフェースが搭載されつつある。そうした音声操作・音声対話の評価には主観的な使いやすさやタスクの達成時間などの指標が使われているが、安全性の観点から運転への影響はどうかという指標も必要であり、我々はそうした指標の開発を進めている。音声操作・音声対話の運転への影響に関してはこれまで携帯電話に関連して多くの研究がなされており、車両横位置の変動の増加<sup>1)</sup>・先行車ブレーキランプへの反応時間の遅延・反応時間のうちで1秒以上の冗長反応の割合の増加<sup>2)</sup>などが報告されている。

これらを安全性の指標として考えた場合、車両横位置の変動に関しては、携帯電話使用時に被験者の年齢によって増える場合と減る場合があることが報告されている<sup>3)</sup>ため、指標としては適当で無い。反応時間に関しては多くの研究で携帯電話使用時に反応時間が増えることが報告されているが、統計的に有意な差が認められな

かったという報告も有り<sup>4),5)</sup>、指標として使えるかどうかは明らかで無い。冗長反応に関しては、安全性の観点から反応時間の遅れが少ない程安全だとすることは理にかなっており、指標となる可能性があると考えた。

#### 2. 提案する評価法

今回提案する評価法の概要は以下の通りである。

- (a) 運転中の状況変化への反応のパフォーマンスを反応時間で計測する。
- (b) 音声対話を行ないながら反応時間を計測し、その分布中の反応時間が遅れた部分の割合の大小を比較する。これが小さいほど運転への影響が少ないと判断する。
- (c) 上記の反応遅れが音声対話中のどのタイミングで生じやすいかを調べる。

具体的には以下のように行なう。

- (A) 反応時間を採用したのは近年前方不注意の事故が増えており、状況変化への反応のパフォーマンスが重要であると考えたからである。

従来研究では反応時間課題はランプの点灯や先行車のブレーキランプにできるだけ早く答えるという、[刺激-検出-操作]式の計測方法が少なくない。しか

<sup>†</sup> (株)豊田中央研究所  
TOYOTA CENTRAL R&D LABS., INC.

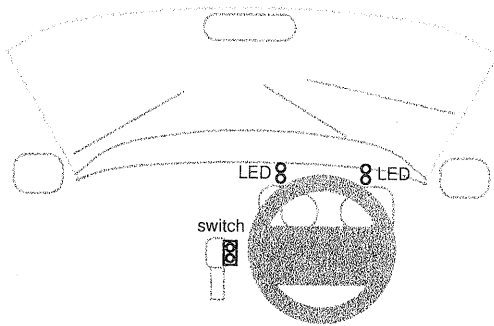


図1 LEDとスイッチの配置  
Fig. 1 Position of LED and switch

し実際の運転場面では、発見した対象が何であるか・どうなっているかを確認し、次の行動をどうするか判断するプロセスが加わる。そこでそうした要素が入るような計測方法を考案した。

反応時間は車室内に取り付けたLEDの光刺激に対するものを計測し、課題は上下に並べたLEDのどちらが点灯したかを上下スイッチで答えるというものにした。LEDの点灯が[刺激]で、それに気付くのが[検出]、LEDの上下を調べるのが[確認・判断]、そしてスイッチを押すのが[操作]に対応する。

LEDは運転者の周辺視に相当する位置に設置し、LEDの上下は近接させておきLEDに目を向けないと上下が分からないようにする。さらに特定のLED対に注意が集中しないように、LED対を左右に配置し、4つのLEDのどれかが点灯するようにした。

(図1)

(B) 運転中に音声対話を行ない、同時に反応時間課題を行なうと、反応時間のヒストグラム分布は図2のようになる。左側の山は個人の基本的な反応時間の分布であり、通常は正規分布とみなせる。一方、右側の分布は何らかの原因で生じた反応時間の遅れであり、分布の種類は分かっていない。音声対話を行なった場合には、その影響で反応時間の遅れの割合が音声対話を行なわない場合より大きく増えることから指標となると考えた。

ここで反応遅れの閾値の設定方法だが、基本的な反応時間の分布は個人によって異なるので固定値を閾値とすることはできない。また、反応時間分布から「平均+3σ」を超えた試行を分離するという方法は今回のように正規分布からのずれが多い状況ではうまくいかない。今回は車を停止してほとんど外乱が無い状態で反応時間を計測し、「平均+停止時反応時間分布の3σ」を超えた試行を分離することにした。この方法が

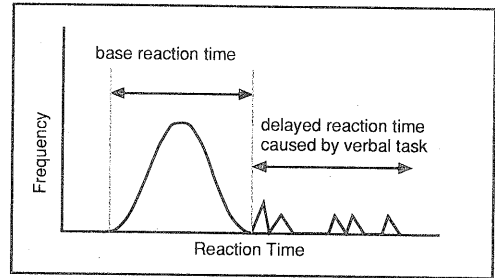


図2 音声対話時の反応時間ヒストグラム  
Fig. 2 Reaction time histogram with verbal task

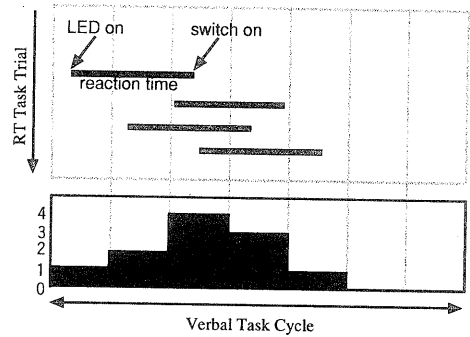


図3 反応時間が遅れやすいタイミングの解析法  
Fig. 3 Analysis of delayed reaction time

良い閾値を与えることは別途確認した。

(C) Bで述べた考え方が正しければ、正規分布を成す基本的な反応時間は確率的に決まるが、反応遅れの部分は音声対話の影響によるものが多いことから、反応遅れの部分を調べることで音声対話中の反応時間が遅れやすいタイミングを知ることができると考えた。図3の横軸は音声対話の1周期であり、反応時間が遅れた試行のLED点灯時間からスイッチが押された時間まではこの図のように音声対話の周期のどこかにプロットされるはずである。すべての反応遅れの試行をプロットした後で適当な時間間隔でヒストグラムをとる。こうすると、ヒストグラムの山ができる場所は反応遅れが多いタイミングであり、言い換えれば音声対話の中で反応時間が遅れやすいタイミングであると言える。

以下では以上で述べたことを確認するために、Aの反応時間計測方法を適用して音声対話を行なった場合と行なわない場合を比較する実験を実車で行なう。そして、Bで提案している指標を実際に適用し、音声対話の有無で指標に差があること、今回提案する指標は反応時間の平均値で比較する方法よりも検定能力が高いことを示す。最後に、Cの解析方法が音声対話中で反応時間が

遅れやすいタイミングを調べられることを示す。

### 3. 実験

#### 3.1 被験者

被験者は社内の30代の男性4人とした。このうち2人は対話課題の経験者であり、課題には十分に慣れている。残りの2人はこの実験は始めてであり、前もって練習試行を2ないし3セット行なった。

#### 3.2 装置

実験は実車で行なった。後で述べる反応時間課題のためのLEDとスイッチを取り付けた。反応時間課題・対話課題の制御と反応時間の計測・記録はパソコンのプログラムで行なった。また今回の実験は音声対話の有無の比較が目的なので、よそ見により反応時間が遅れた試行を除く必要があり、そのために非接触の視線計測装置を搭載し運転者の視線をVTRに記録した。

#### 3.3 走行コース

走行コースは社内一般路を利用した。制限速度は25km/hであり、設定したコースを1周する時間は約8分である。他車の走行はほとんど無いが、右左折12回と緩いカーブ4回が含まれている。

#### 3.4 反応時間課題

具体的な配置は図1で既に示した。運転者の前のダッシュボード上に上下に近接したLEDを左右に25cmの間隔で取り付け、上下スイッチはシフトレバー付近に取り付けた。LEDの点灯間隔は6.0秒とし、点灯後2.0秒経っても被験者の反応が無い場合は消灯し見落としとみなした。

#### 3.5 対話課題

対話課題は、音声で問題を出しそれを聞いて口頭で答えるという形の記憶課題で模擬した。評価法に汎用性があることを示すために記憶課題は2種類用意した。具体的にはDelayed Digit Recall (DDR)とFree Recall (FR)と呼ばれるものを用いた。

DDRは、験者が一定間隔ごとに1桁の数を読み上げ、被験者は数を聞いた後で験者が1つ前に言った数を答えるものである。今回は数の読み上げはパソコンの音声合成ソフトで行ない、読み上げ間隔は2.3秒とした。

(図4)

FRは、験者が一定間隔ごとに名詞を5つ読み上げ、被験者はその後の5回の合図に合わせて5つの名詞を答える、というものである。答える順序は読み上げの順序と違っていても良い。DDR同様、読み上げはパソコンの音声合成ソフトで行ない、名詞の読み上げ間隔は1.6秒、合図の間隔は2.2秒とした。(図5)

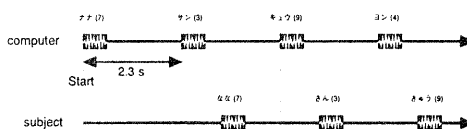


図4 Delayed Digit Recallの時間設定  
Fig. 4 Timing chart of delayed digit recall

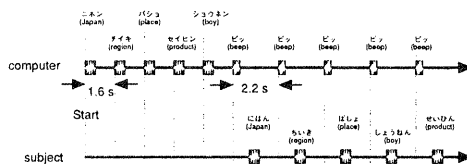


図5 Free Recallの時間設定  
Fig. 5 Timing chart of free recall

#### 3.6 実験条件および実験回数

実験条件は(1)停止した状態で反応時間課題のみ [stop条件] (2)走行しながら反応時間課題のみ [no task条件] (3)走行しながら反応時間課題+対話課題 (FR)[verbal task 1条件] (4)走行しながら反応時間課題+対話課題 (DDR)[verbal task 2条件]の4種類を行なった。[stop条件]は1回4分間、[no task条件][verbal task 1条件][verbal task 2条件]は1回約8分(前述の走行コースを一周)であり、それぞれ日と順番を変えて8回行なった。

#### 3.7 データ処理

最初に反応時間のデータからLEDの上下を間違えたものを除き、次にVTRと視線データを使って反応時間の遅れを音声対話の影響によるものとそうで無いものに分類した。以後の反応時間の遅れの解析には音声対話の影響によるもののみを用いている。

### 4. 結果

代表例として、ある被験者の[no task条件]と[verbal task 1条件]の反応時間ヒストグラムを図6に示す。この被験者の場合、900msから1000ms付近に閾値があり、左側の閾値以下の部分が正規分布とみなせること、閾値より上の反応遅れの部分の割合が対話課題を同時に行なった場合に増えていることがわかる。

各被験者の反応遅れの割合をまとめてグラフにしたのが図7である。反応遅れの閾値の設定方法は最初に説明した方法を用いた。この図から確かに対話課題を行わない条件([no task条件])よりも対話課題を同時に行なった条件([verbal task 1条件][verbal task 2条件])の方が反応遅れの割合が増加していることがわかる。t検定を行なったところ、[no task条件]と[verbal task

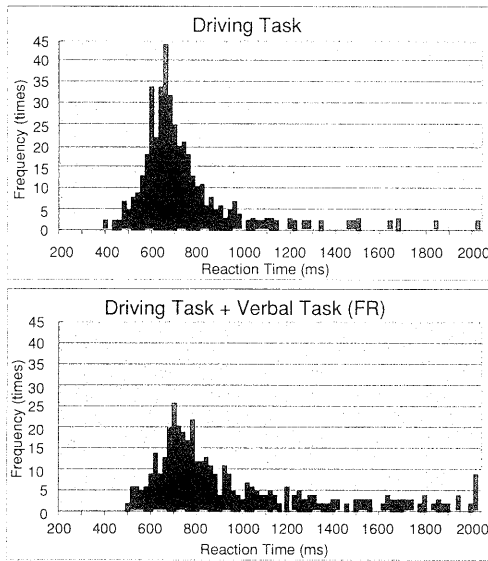


図6 反応時間ヒストグラムの比較  
Fig. 6 Comparison of reaction time histogram

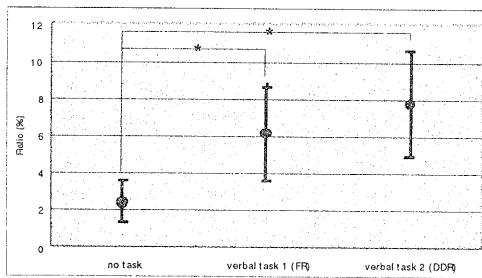


図7 反応時間遅れの割合 (N=4), \* :  $p < 0.05$   
Fig. 7 Ratio of delayed reaction time (N=4), \* :  $p < 0.05$

1条件), [no task条件]と[verbal task 2条件]の間に5%の危険率で有意差が認められた。[verbal task 1条件]と[verbal task 2条件]の間には有意差は認められなかった。

次に、各被験者の反応時間の平均値を同じようにグラフにしたのが図8である。平均値で比較した場合も[no task条件]より[verbal task 1条件][verbal task 2条件]の方が大きくなっていることがわかる。ただしt検定を行なったところ、5%の危険率ではどの条件間にも有意差が認められなかった。このことから、反応遅れの割合を指標とする方法は平均値を比較する方法よりも検定能力が高いと言える。

最後に、反応時間の遅れの部分を解析することにより、音声対話中で反応時間が遅れやすいタイミングを調べられることを示す。

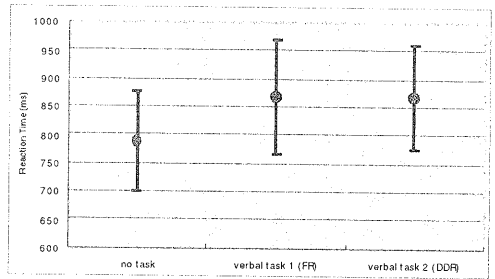


図8 反応時間の平均値 (N=4)  
Fig. 8 Average of reaction time (N=4)

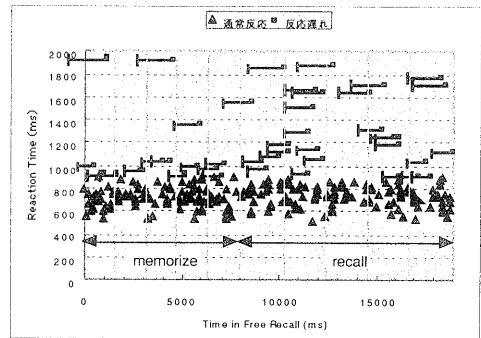


図9 FR周期中の反応のタイミング  
Fig. 9 Time of reaction in FR

図9は図6の下段のグラフと同じデータを縦軸に反応時間、横軸に対話課題中の時間としてプロットし直したものである。対話課題はFRで、課題周期は19.0秒である。通常反応の部分はスイッチが押された時間を、反応遅れの部分はLED点灯からスイッチが押された時間までを示している。また、パソコンからの音声提示タイミングを縦の線で入れている。最初の8秒間はパソコンが提示する単語を記憶する区間、残りがパソコンが指示するタイミングに合わせて単語を答える区間である。

この図から、通常反応は均等に分布しているのに対し、反応遅れは分布に片寄りがあることがわかる。つまり反応遅れはランダムに起こるのではなく、音声対話の影響で遅れやすいタイミングというものが存在するというのである。そこで反応遅れだけを取り出してCで説明した解析方法を適用すると図10のようになる。この被験者の場合、記憶する区間よりも記憶を再生して答える区間の方が反応遅れの割合が多いこと、特に2つめの単語を答えるタイミングに多いことがわかる。これは他の被験者も同様であった。

図11は一人の被験者のDDR課題の解析結果であり、課題周期は2.3秒である。答えるタイミングは被験者ごとに少しずつ異なるため、そのタイミングを知るた

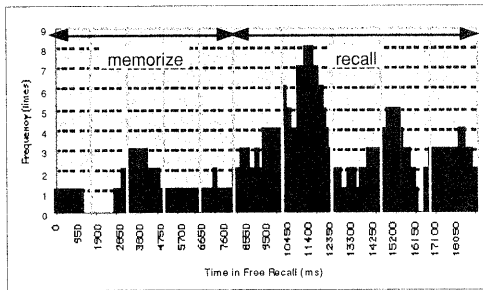


図 10 FR の反応遅れ解析

Fig. 10 Analysis of delayed reaction time in FR

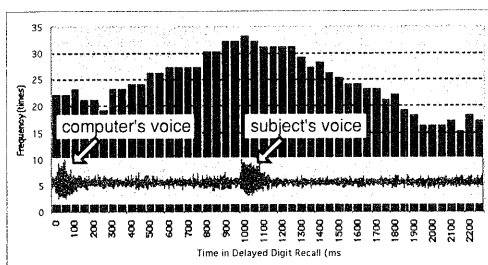


図 11 DDR の反応遅れ解析

Fig. 11 Analysis of delayed reaction time in DDR

めに被験者の音声データを重ねて表示した。音声データの最初の固まりがパソコンが数字を提示したものであり、2番目の固まりは被験者が数字を答えたものである。この被験者の場合、数字を答えるタイミングと重なった場合に反応遅れが増えていることがわかる。被験者全体では、答えるタイミングと重なった時に反応遅れが増えた被験者が2人、答える直前のタイミングに反応遅れが増えた被験者が2人だった。

聞いている時よりも話す時の方が心的負荷が大きくなることは過去に指摘されており<sup>6)</sup>、そのことはこの解析方法の妥当性の一証拠として挙げられる。

## 5. ま と め

音声対話の運転への影響を評価する手法を開発した。この評価法は以下の特徴を持つ。

- (1) 周辺状況変化への対応のパフォーマンスを車室内に設置したLEDへの反応時間で計測する。この反応課題は[刺激-検出-確認-判断-操作]のプロセスを含んでいる。
- (2) 評価指標は反応時間分布中の反応時間が遅れた試行の割合であり、この指標は反応時間の平均値で評価する方法よりも検定能力が高い。

- (3) 反応時間が遅れた試行を解析することで、音声対話中の反応時間が遅れやすいタイミングを調べることができる。

今回は音声対話の有無での比較しかしていないが、評価法として用いる場合には例えば音声対話X方式と音声対話Y方式との比較評価ができなくてはならない。そのために今後はそうした用途に適用可能かどうかを確認していく予定である。

## 参 考 文 献

- 1) Stein, A. C. et al.: *A Simulator Study of the Safety Implications of Cellular Mobile Phone Use*, 31st Annual Proceedings American Association for Automotive Medicine, pp. 181-200 (1991).
- 2) 自動車安全センター: 携帯電話が運転行動に及ぼす影響に関する調査研究 (1998).
- 3) Nilsson, L. et al.: *Effects of Mobile Telephone Use on Elderly Drivers' Behaviour - Including Comparisons to Young Drivers' Behaviour*, DRIVE project V1017, Report No. 53 (1991).
- 4) Brookhuis, K. A. et al.: *The Effects of Mobile Telephoning on Driving Performance*, *Accid. Anal. & Prev.*, Vol. 23, No. 4, pp. 309-316 (1991).
- 5) Roberto A. Tokunaga ほか: 自動車運転中の携帯電話使用・操作に関連する問題の研究, 自動車技術会学術講演前刷集 976, pp. 195-198 (1997).
- 6) Kahneman, D. et al.: *Perceptual Deficit during a Mental Task*, *Science*, Vol. 157, pp. 218-219 (1967).