

講演 7. 自動運転中の作業負荷定量化手法に関する基礎的検討

自動車安全研究部
東京農工大学

※関根 道昭
澤間 祐人

榎本 恵
加藤 洋子

1. はじめに

日本政府は、2020 年までに高速道路におけるハンドルの自動操作と限定地域の無人自動運転移動サービスの実現を目指しており、さらに 2025 年までに高速道路における完全自動運転の実現を目標に掲げている。SAE J3016¹⁾が定義するレベル 3 以上の自動運転は、従来人間が行ってきた認知、判断、操作をすべて車両システムが行うため、ドライバは運転以外の作業（以下、副次タスク）を行うことができる可能性がある。そのため、2019 年 5 月に改正された道路交通法は、自動運転の一定の条件を満たさなくなったときにドライバが直ちに適切に対処できる場合は、携帯電話の保持通話やカーナビなどの画像注視の禁止規定を適用しないこととしている。

レベル 3 の自動運転システムは、必要に応じたシステムからドライバへの権限委譲（運転操作の引き継ぎ）を前提としており、システムが運転引き継ぎ要請（Take Over Request、以下 TOR）を提示したら、ドライバは直ちに運転を引き継がなければならない。また、レベル 4 の高度自動運転システムにおいても、設計運行領域（Operational Design Domain、以下 ODD）が限定されており、例えば高速道路の出口などの目的地に到着して ODD から外れる前には、システムが TOR を提示してドライバに運転の引き継ぎを求める可能性が高いと考えられる。

ドライバが副次タスクを行っている時に TOR を提示すると、何もしていない場合よりもハンドルを握って運転を引き継ぐまでの時間が長くなることが示されている²⁾。特に複雑で作業負荷が高い副次タスクを行っている場合は、すぐに中断することが難しいため、運転引き継ぎ時間がさらに長くなると考えられる。そこで、本研究は副次タスクの作業負荷の程度を理解し、より詳細に運転引き継ぎ時間に与える影響を考察するため、検出反応課題^{3) 4)}（Detection Reaction Task、以下 DRT）により副次タスクの作業負荷の定量化を試みたので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2. 1. 実験概要

ドライビングシミュレータ（以下 DS）を用いて、レベル 4 相当の自動運転中にドライバが副次タスクを行い、目的地に近づいて ODD から外れる前に TOR を提示する場面を設定した。実験参加者は、副次タスクと並行して DRT を行った。副次タスクの最中に視覚刺激あるいは触覚刺激を提示して、実験参加者はこれらを検出したら、速やかに左の人差し指に装着したボタンを押した。このときの刺激提示からボタンを押すまでの反応時間を求めた。副次タスクの負荷が高い場合は、ドライバの注意が副次タスクに集中するため、DRT の反応時間が長くなると考えられている³⁾。TOR 後にハンドルを握るなどの運転を引き継ぐまでの時間と DRT の反応時間の相関を求めることにより、副次タスクの負荷が運転引き継ぎ時間に与える影響を評価できると考えた。

この実験には、20 歳代から 50 歳代の非高齢者 18 名と 70 歳代～80 歳代の高齢者 18 名が参加した。この実験は、交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程に基づき、事前審査を経た上で実施したものである。

2. 2. 副次タスクの内容

この研究では副次タスクとして SuRT（Surrogate Reference Task）と呼ばれる図形課題を採用した⁵⁾。実験参加者は、画面上に表示される多数の円の中から一つだけ他の円より 1.2 倍大きい円を指先でタッチした（図 1）。タッチの直後には次の画面が表示され、この作業を一定時間繰り返し行った。

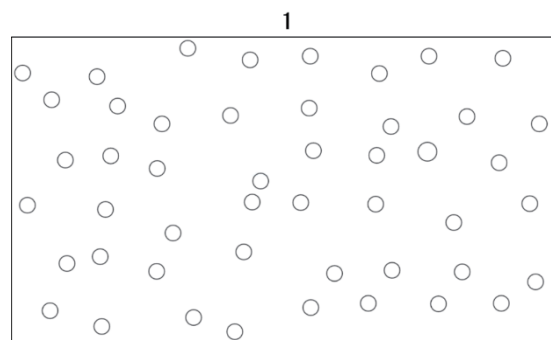


図 1 SuRT 画面の例

表示画面の設置方法に二つの条件を設けた。一つはカーナビ画面のように7インチのタブレットPCを運転席の左前方に固定して操作する固定画面条件であり、もう一つは手に持ったスマートフォンで操作を行う携帯画面条件であった（図2）。



図2 固定画面条件（左）と携帯画面条件（右）

2. 3. DRT の内容

DRT に用いる刺激は視覚刺激と触覚刺激の2種類とした。視覚刺激はヘッドバンドに取り付けたLEDの点灯により提示した（図2）。触覚刺激は右鎖骨付近に貼り付けた小型の振動モータにより提示した。視覚刺激、触覚刺激はどちらも1回あたり1秒間持続させた。刺激を提示する時間間隔は、3秒間から5秒間（平均4秒間）とした。

実験参加者は刺激を検出したらできるだけ速やかに図3左に示す左手人差し指のボタンを押した。刺激を与えてからボタンを押すまでの時間をDRTの反応時間とした。ボタンの押し方として、固定画面条件では左手の親指と人差し指にボタンを挟んで操作させ、携帯画面条件では人差し指をスマートフォンの裏側に押しつけてボタンを操作させた（図3右）。

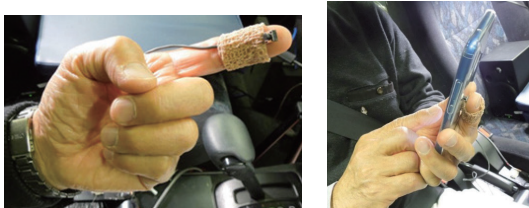


図3 応答ボタンと携帯画面条件のボタンの押し方

2. 4. 実験のシナリオ

三菱プレジジョン製のDS（DS-2000を改修）を用いて、高速道路の左側走行レーンを80 km/hで自動走行する場面を再現した。自車両の周りに複数の車両を走行させ、時々車線変更や追い越しを行い、自然な交通流を再現した。実験参加者には、周りの車両に衝突する恐れはないと教示した。走行時間の長さは10分と13分のいずれかとして、最後に提示されるTORのタイミングを推測されにくくした。

走行開始後、2分から4分の間に副次タスクを行わない状態でDRT反応時間を測定した。1分間のインターバルを挟んだのち、副次タスクを開始した。始めの30秒間は副次タスクのみを行い、その後の2分間は副次タスクとDRTを両方並行して行った。

TORとして、車内に設置したスピーカから「ピピピ」という音に続き「自動運転モードを終了します」という音声メッセージを提示した。実験参加者には、自動運転には有効区間があり、TORが聞こえたら副次タスクを中断して運転を引き継ぐように教示した。実験の最初に、副次タスクを行わない状態で自動運転を行い、TORを受けて運転を引き継ぐ練習を行った。

3. 実験結果

3. 1. DRT 各条件における運転引き継ぎ時間

TOR発行後に運転を引き継いだことを確認するため、次の四つの行動を観察した。

- ① 副次タスクを止めて前を向く
- ② ハンドルを握る（ハンドル上のボタンを押す）
- ③ アクセルペダルに足を載せる
- ④ アクセルペダルを踏み込む

行動①と行動③は実験の記録映像、行動②と行動④はDSの記録データから解析した。非高齢者と高齢者のDRT各条件におけるTORへの反応時間をそれぞれ図4と図5に示す。誤差線は標準偏差である（以下の図も同じ）。「SuRTなし」は、練習走行のDSの記録データから行動②と行動④のみを示した。

高齢者におけるTORへの反応時間は非高齢者よりも全体的に長く、標準偏差が大きいという特徴が見られた。TORへの平均反応時間を副次タスクの有無で比較すると、非高齢者は副次タスクを行った場合でも、TORへの反応時間はほとんど変化しなかった。しかし、高齢者は副次タスクを行っている場合において、TORへの反応時間が長くなっていた。

行動別に見ると、TOR発行後、前を向く行動とハンドルを握る行動は速やかに生起することがわかった。非高齢者においては、携帯画面よりも固定画面の方が、TORが提示されてから前を向くまでの時間が短い傾向が見られた。固定画面は実験参加者の左前方に設置されていたため、手に持って少しうつむいて使用する携帯画面よりも、前方への視線の移動距離が短いことが関係していると考えられる。

一方、アクセルペダルに足を乗せて踏み込む行動には個人差が大きかった。今回の実験ではレベル 4 における ODD 終了前の TOR を想定しており、他車両が接近するなどの緊急対応が必要なイベントを設定しなかったため、実験参加者は自分のペースで運転を引き継いでいたと考えられる。緊急対応が必要でない場合でも、非高齢者は、速やかに運転を引き継ぐことができるが、高齢者は、全体的に TOR に対する反応が遅く、運転を引き継ぐときの動作に個人差が大きいことがわかった。

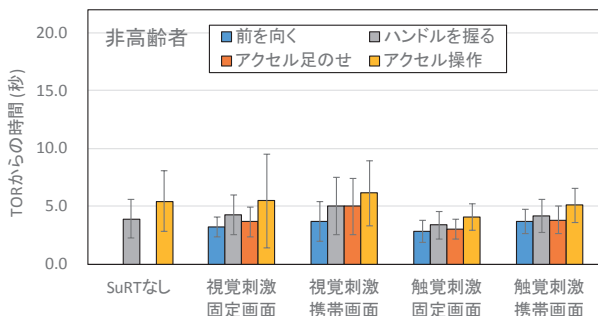


図 4 TOR 後の運転引き継ぎ時間 (非高齢者)

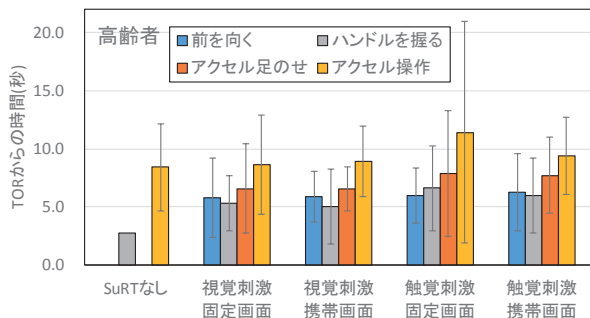


図 5 TOR 後の運転引き継ぎ時間 (高齢者)

3. 2. DRT の反応時間

DRT 刺激に反応できた場合の平均反応時間 (DRT 反応時間) について、図 6 に非高齢者の結果、図 7 に高齢者の結果を示す。「SuRT なし」は副次タスクを行わない場合の結果である。非高齢者と高齢者のどちらも「SuRT なし」の DRT 反応時間が最も短かった。そして、非高齢者の場合は「SuRT なし」以外の条件では刺激の種類と画面の種類に関係なく、ほとんど差がなかった。高齢者では触覚刺激において、非高齢者と比較して約 0.2 秒遅かったが、固定画面と携帯画面の間にはほとんど差がなかった。

3. 3. DRT と TOR 反応時間の関係

図 8 と図 9 に非高齢者と高齢者の DRT 反応時間と TOR 発行後に前を向くまでの時間の関係を示す。こ

こでは、実験参加者別、条件別の平均反応時間を用いている。さらに表 1 に各条件における DRT 反応時間と TOR 反応時間の相関係数を示す。非高齢者においては携帯画面の条件において、正の相関が見られた。高齢者においては個人差が大きく、すべての条件において相関が見られなかった。高齢者にとって DRT と副次タスクの二重課題の難易度が高すぎた可能性が考えられる。

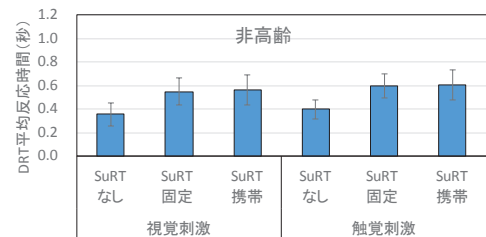


図 6 DRT の平均反応時間 (非高齢者)

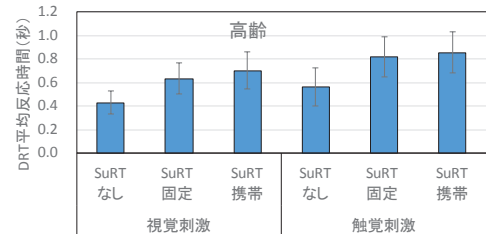


図 7 DRT の平均反応時間 (高齢者)

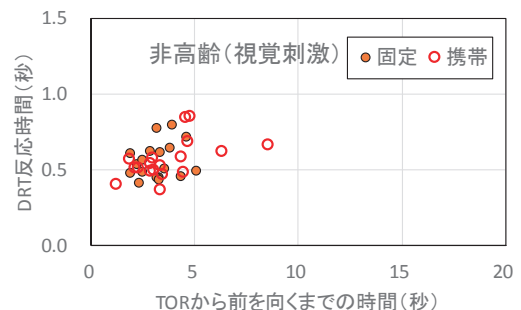


図 8 DRT 反応時間と TOR 後前を向くまでの時間の関係 (視覚刺激、非高齢者)

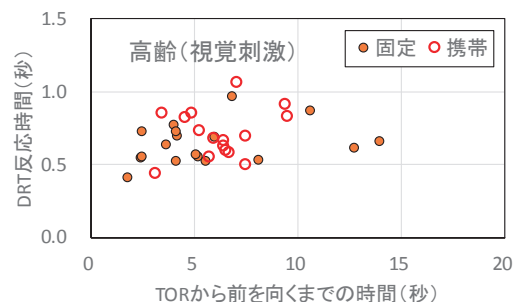


図 9 DRT 反応時間と TOR 後前を向くまでの時間の関係 (視覚刺激、高齢者)

表 1 DRT 反応時間と前を向く時間の相関係数

年齢	視覚 DRT		触覚 DRT	
	固定画面	携帯画面	固定画面	携帯画面
非高齢	0.21	0.53*	-0.09	0.52*
高齢	0.28	0.27	0.31	0.24

(* $p < .05$)

表 2 DRT 反応時間とハンドルを握る時間の相関係数

年齢	視覚 DRT		触覚 DRT	
	固定画面	携帯画面	固定画面	携帯画面
非高齢	0.21	0.66**	0.05	0.44+
高齢	-0.17	0.15	0.24	0.11

(** $p < .01$, + $p < .10$)

同様に、非高齢者と高齢者における DRT 反応時間と TOR 提示からハンドル上のボタンを押すまでの時間について、表 2 に各条件における相関係数を示す。前を向くまでの時間と同様に、非高齢者における携帯画面条件の相関係数に有意差が認められた。

4. 結 論

非高齢者の携帯画面条件においては、視覚刺激、触覚刺激のいずれにおいても、DRT の反応時間と TOR 後の反応時間の相関に有意差が確認された。ただし、DRT の反応時間、TOR への反応時間のどちらも全体的に短く、ばらつきが小さかったため、今回の実験よりも大きい作業負荷の副次タスクを与えた場合の反応時間を検討する必要があると考えられる。

一方、高齢者の場合はいずれの条件においても DRT と TOR の相関が観察できなかった。高齢者のデータは全体的にばらつきが大きかったことから、DRT と副次タスクを同時に行うことが高齢者にとっては過大な負荷であったと考えられる。DRT の負荷を調整すれば、全体の作業負荷を軽減できるため高齢者においても副次タスクの作業負荷を定量化できる可能性が残っていると考えられる。

DRT は本来、運転中に短時間で言うカーナビ操作などの作業負荷を調べる課題であるため、刺激の時間間隔が 3 秒から 5 秒間に設定されている。しかし、自動運転中の副次タスクを評価する場合、DRT が実験参加者に余計な負荷を与える恐れがある。今後の実験では DRT 刺激の間隔を長くするなどして、DRT 自体の負荷を小さくする必要があると考えられる。

また、非高齢者における TOR 後の運転引き継ぎ時間は全体的に短かった。SuRT という副次タスクは、没入度が低く、躊躇せずに中断することができるた

め、実験参加者は速やかに運転を引き継いだものと考えられる。しかし、実際の自動運転では運転手が積極的に行いたい副次タスクを実行すると考えられるため、没入度が高くなると予想される。そのため、今後の実験では没入度が高い副次タスクについても検討する必要があると考えられる。

本実験におけるシナリオでは、レベル 4 における ODD 終了前の TOR を想定しており、TOR 発行時の交通状況に緊急性がなく、急いで運転を引き継ぐ必要性が薄かった。そのため、特に高齢者においては、運転を引き継ごうとする動機づけに個人差が生じやすかったと考えられる。今後、TOR 発行時にある程度緊急性がある場面についても検討する必要があると考えられる。

謝 辞

本論文は平成 30 年度に自動車基準認証国際化研究センター (JASIC) から受託した研究成果の一部を報告したものである。この調査にご協力いただいた関係者に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) SAE : “Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems”, J3016 (2018)
- 2) 児島亨ほか, “高速道路上で自動運転システムを使用中の安全な運転操作引き継ぎに関する実験的研究”, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.3, pp. 870-876 (2019)
- 3) ISO17488, “Road vehicle – Transport information and control systems – Detection-response task (DRT) for assessing attentional effects of cognitive load in driving”, pp. 6-14 (2016)
- 4) National Highway Traffic Safety Administration: “Detection Response Task (DRT) Evaluation for Driver Distraction Measurement Application”, (2014)
- 5) ISO/TS 14198: “Road vehicles -- Ergonomic aspects of transport information and control systems -- Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems”, (2019)