

視覚応答遅れが運転の操作感知覚に与える影響の評価

佐藤丈^{†1} 岡本真也^{†1} 福田悠人^{†1} 岩瀬勉^{†1,†2} 澤田直已知^{†2} 花輪和人^{†2}
群馬大学^{†1} 株式会社 SUBARU^{†2}

1. はじめに

車を運転していると、まるで車を自分の手足のように感じ、一体感（運転の一体感）を体感することがある。このような体験は運転体験の質の向上に繋がるが、そのような体験を得られるかは車の特性によっても異なる。運転の一体感は運転者の特性にも起因すると予測できるものの、具体的な要因の解明は十分に行われていない。運転の一体感の損失は車の挙動と運転者の操作の間の乖離を表しており、場合によっては重大な事故に繋がる可能性もある。そのため、運転の一体感についての研究は楽しい運転体験を創出する目的だけでなく車両特性の設計においても重要である。

この感覚と類似する自分の身体や道具を自分の思いのままに制御する感覚は、Gallagherにより運動主体感（Sense of Agency）として報告されている[1]。Satoらはクリック入力に対して音が出力されるシステムにおいて、出力の遅延や出力される音の不一致が運動主体感を減少させることを示した[2]。また、谷田らはドライビングシミュレータ上での運動主体感について調査し、運転アシストによる大きな介入は運動主体感を減少させることを示した[3]。

車を運転していて知覚できる一体感は複合的な要素があると考えられる。本研究では、運転の一体感を「自身の思うとおりに運転できた」と感じることにし、研究を進めている。本稿では、ステアリング入力に対する視覚応答（操作応答）の遅れ時間とそのばらつきを変化させていった際に、運転の一体感が得られるか、変化するかについて実験的に調査する。また、運転者の能力の違いが視覚応答と運転の一体感の関係に作用するかを調査するため、簡易的な運転能力テストを行った。なお、本研究は群馬大学人を対象とする研究倫理審査委員会の承認を得て実施している。

2. 視覚応答と一体感の関係の調査環境構築

運転における一体感と車の特性の間関係を調査するため、遅れ時間などのパラメータを設定可能なドライビングシミュレータ（以降、簡易シミュレータ）を開発した（図1）。簡易シミュレータでは、PCに接続されたステアリングハンドル、アクセルペダル等から入力を取得し、PCで処理しCG画像を出力する。簡易シミュレータ上では、二車線の直線道路を実際のスケールを基に再現し、直進方向への運転が可能となっている。図2に簡易シミュレータ上で設定した環

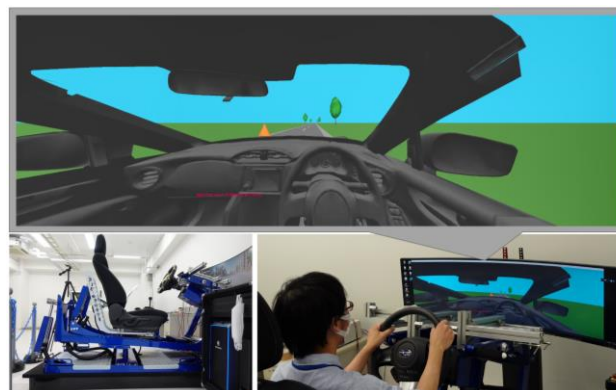


図1 ドライビングシミュレータでの運転の様子

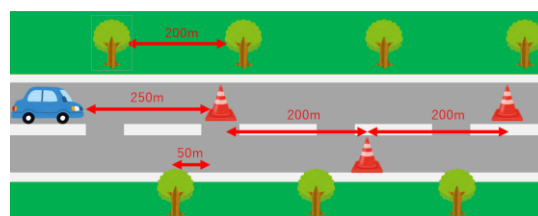


図2 ドライビングシミュレータ上で設定した環境

境を示す。操作してもらった車は二車線道路の左車線から発進するようになっている。直進すると1つ目のカラーコーンが設置されており、カラーコーンは一定の間隔（200m）で左右交互の車線上に8つ設置されている。また、街路樹を1つ目のカラーコーン50m手前を基準とし、直線道路の左右に100m間隔で設置している。機能としてはステアリング入力からCG出力までの時間（遅れ時間とそのばらつき）を制御可能になっている。本稿で設定可能としている遅れ時間とは、実際の処理時間を除いた時間を示している。作製した本システムを用いて、遅れ時間を0msとした設定でステアリングへの入力から、実際に画面に描画されるまでの時間を高速カメラにより計測したところ、100ms程度だった。そのため、シミュレータの遅れ時間を200msに設定した場合、実際の遅れ時間は300ms程度となる。本研究では、この遅れ時間が全ての入力に対して一定ではなく、ある程度のばらつきを持つ場合についても検討している。このばらつきは正規分布を仮定し、平均と標準偏差を設定し、遅れ時間にばらつきを持たせるようにした。また、ステアリング操作時の反力は、そのときのステアリング角度に応じて、実車相当の反力が発生するように設定している。ステアリング入力を40fpsで取得し、画面の出力は80fpsとしている。

3. 視覚応答と一体感の関係の調査実験

本研究では、遅れ時間とそのばらつきをパラメータとし、パラメータの変化と自身が思うように車を操作できているかという感覚の間の関係について調査した。事前の調査結果を基に設定した各パラメータを表 1 に示す。遅れ時間に関しては、簡易シミュレータを運転した際に、5 割の人が車を「かなり制御できなかつた」と感じた設定値 (400 ms) を遅れ時間 (大) と設定し、遅れ時間 (中) は遅れ時間 (大) と遅れ時間 (なし) の中間の 200 ms として設定している。遅れ時間のばらつきに関しては、遅れ時間 (中) に対してばらつきを加えた場合に、平均の遅れ時間が変わらない程度のばらつきを設定し、本実験では標準偏差を 100 ms としている。また、運転能力や認知機能と運転の一体感との関係を調べるために「TMT-A」「TMT-B」検査、「SAFETY ドライブチェック」[4]などの簡易的な運転能力テストを行い、タイムや得点を記録した。

実験では、表 1 に示された各条件で設定された簡易シミュレータを用いて、カラーコーンを車線変更して避けてもらう運転タスクを行ってもらった。車線変更はカラーコーンを避けるときのみに行うように促し、車線変更のタイミングは実験参加者のタイミングで行ってもらった。各運転タスクの後、官能評価アンケートに回答してもらった。アンケートは、「Q1. 直進時に自身の思うように車を制御することができた」「Q2. 車線変更時に自身の思うように制御できた」「Q3. ステアリング操作を行っていて、違和感があった」「Q4. 車の挙動を予測しやすかつた」「Q5. 他の人にステアリング操作をされているように感じた」の 5 項目とし、回答は 6 段階のリッカート尺度とした。本実験では、「6: 非常に思う」「1: 全くそう思わない」と定め、「どちらでもない」という選択肢は除いた。このような実験を、著者の所属機関で募集した実験参加者 18 名 (男性 15 名, 女性 3 名, 平均年齢 35.6 歳) に対して行った。事前に簡易シミュレータでの運転に慣れてもらうため、表 1 中の条件 A で十分に練習を行ってもらった。また、実験参加者がどの設定で実験を受けるかについては無作為な順序とした。

得られた官能評価結果を集計し、分散分析を行った。Q2 の質問に対する官能評価結果を図 3 に示す。Q2. の質問に対する分散分析の結果では、遅れ時間要因に有意差 ($F(2,34) = 72.360, p < 0.001$) があり、ばらつきの要因、交互作用には有意差がなかつた。同様に、Q1~Q5 のいずれの質問も遅れ時間の要因については、有意な差が見られ、ばらつきの要因については有意差がなかつた。今回の実験では、遅れ時間 (中) の場合には「制御できた」という回答が多く、遅れ時間 (大) の場合には「制御できなかつた」という回答が多かつたため、これらの間に「制御できたかどうか」を分ける遅れ時間の境界となる値があることが推測される。

表 1 視覚応答と運転の一体感の実験条件

ばらつき \ 遅れ時間 (σ [ms]) (d[ms])	なし (d = 0)	中 (d = 200)	大 (d = 400)
無し ($\sigma = 0$)	A	B	C
有り ($\sigma = 100$)	D	E	F

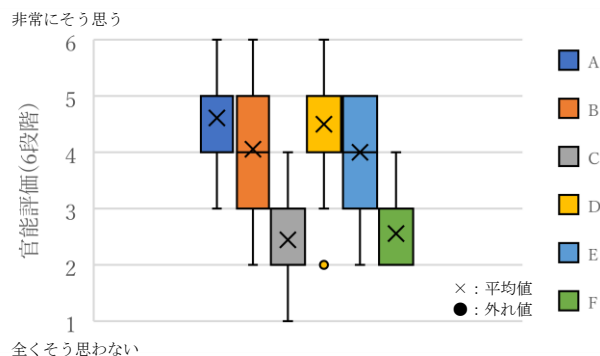


図 3 官能評価アンケート結果 (Q2)

「車線変更時に自身の思うように制御できた」

また実験参加者 18 名を上位 9 名下位 9 名ずつ、運転の簡易テストのスコアが高いグループ、低いグループに分けて官能評価を比較した。スコアの高いグループの方が簡易シミュレータの条件の違いに鋭敏であると予想していたが、大きな差は見られなかつた。これは実験参加者を単純に 2 グループに分類したため、グループ間の平均スコアの差があまり大きくなかつたことが要因の一つとして考えられる。

4. おわりに

本稿では、ドライビングシミュレータを用いた官能評価実験によって、車の運転時の視覚フィードバックの遅れが獲得される運転の一体感に関与していることが示唆された。今後は運転者の属性 (年齢や運転の熟練度など) が、視覚応答と運転の一体感の関係に作用するかについて、実験参加者数を拡充して検証を行う予定である。

本研究を推進するにあたり株式会社 SUBARU 様には多大なるご協力を頂きました。心より感謝申し上げます。

参考文献

[1] S. Gallagher, Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 4, Issue 1, pp. 14-21, 2000.

[2] A. Sato and A. Yasuda, Illusion of sense of self-agency: discrepancy between the predicted and actual sensory consequences of actions modulates the sense of self-agency, but not the sense of self-ownership, *Cognition*, Vol.94, No. 3, pp. 241-255, 2005.

[3] 谷田ら, 自己主体感に基づく運転支援システム設計の研究, 自動車技術会論文集, Vol. 49, No. 5, 2018.

[4] 兒玉ら, 運転能力診断装置を活用した高齢者への安全運転支援, 第 51 回土木計画学研究発表会 (春大会), 2015.