

高速道路を対象とした運転トピック遭遇時における認知機能の分析

Analysis of Cognitive Functions in the Encountered State of Driving Topics on Expressways

佐藤 和人* 大桃 悠生* 伊藤 桃代** 間所 洋和* 門脇 さくら***

Kazuhito Sato Yuki Oomomo Momoyo Ito Hirokazu Madokoro Sakura Kadowaki

1. はじめに

日本国内の交通事故による死者数は減少傾向にあるが、近年、高齢者ドライバによる誤操作や高速道路の逆走が原因とされる交通事故が特に問題視されるようになった。交通事故による年齢層別死者は、平成 27 年 6 月時点で、65 歳以上の高齢者(1,006 人、構成比 53.1%)が最も多く、次いで 50 歳代(200 人、構成比 10.6%)、40 歳代(169 人、構成比 8.9%)の順となっている[1]。また、過去 10 年の推移をみると、全体的には減少傾向(平成 17 年の 0.60 倍)にあるものの、高齢者の減少率は低く、自動車等運転者による年齢層別死亡事故件数でも高齢者が 8 年連続で最も多いことが報告されている[1]。このように、高齢者ドライバによる交通事故は相対的に発生頻度が高く、かつ重度の傷害につながるリスクが高いことから、身近に迫りつつある超高齢化社会の到来に向けた対策が急務である。

高齢者ドライバによる交通事故の要因として、認知・判断・操作に関する一連の運転動作の鈍化、複数作業への注意配分や集中力の低下によるハンドルやブレーキの誤操作、不注意や注意散漫による漫然運転など、高齢者特有の共通点の存在が考えられる。最近では、自動運転の取組みに象徴されるように、様々な交通事故予防安全システムが検討され、それらシステムの実用化が加速している。しかし、それらのシステムは車両の外部情報を収集・解析するものが殆どで、個々のドライバの運転特性に適応的に対処できないという問題点を有する。また、標準的な一般ドライバを基準とした予防安全技術では、認知・判断・操作に見られる高齢者特有の運転動作の鈍化等への対応が困難であることから、高齢者ドライバの運転特性に特化した予防安全システムへのアプローチが不可欠と考える。

本研究では、特に致死率が高く、かつ重大事故につながる易い高速道路を対象に、事故を誘発し易い 4 つの状況(路肩の故障車、小動物の飛び出し、落下物、車線の減少)を運転トピックと定義し、時間帯(昼/夜)と交通流(追い越し車両:有り/無し)を制御した走行実験を行う。具体的には、各運転トピックに対する認知・判断・操作に係る一連の運転行動に着目し、一般ドライバ(若年者ドライバ)と高齢者ドライバの運転特性を比較分析する。ここでは、運転特性を特徴付ける身体情報としてドライバへの負担が少なく、かつ非拘束的な手段で取得可能な頭部姿勢・顔向き・視線、生体情報として心拍、操作情報としてハンドル・ブレーキ・アクセルの各操作量を取得し、高速道路で遭遇する運転トピックに対する高齢者ドライバの特有の運転特性を明らかにする。

2. 関連研究

高齢者ドライバの死亡事故に至る原因は運転操作不適が最も多く、身体的特性、心理的特性、運転的特性、社会的特性に起因する。身体的特性とは、視力や運動能力といった身体機能の衰えを示す。それらの補助技術としては、ステアリング操作の運転負荷を低減するシステムや、衝突の可能性がある場合に速度を自動で低減し、被害を軽減するシステム等が実用化されつつある[2]。心理的特性とは、高齢者ドライバが複数情報の平行処理が苦手なことや自分本位になりがちな傾向を有することを指す。運転的特性とは、過去の経験に基づく「慣れ」や「だろー運転」による意識と行動のミスマッチを指す。また、社会的特性とは、コミュニケーション能力の低下やモチベーションの影響の有無など世代による特性の違いを指す[3]。これら高齢者ドライバが有する諸特性への対策として、高齢者一人一人が受け身ではなく、自ら交通安全への取り組みに参加してもらうことで安全運転への意識改革や動機付けが可能であること[3]、高齢者ドライバが標識に対して指差し呼称を行うことで注意力の向上が可能であること等が報告されている[4]。

更に、高齢者ドライバの認知機能に関する研究として、高原ら[5]は、一時停止場所での特徴を解析し、音声案内型一時停止支援システムの開発を通して、システムの有効性を示している。また、飯田ら[6]は、高速道路における高齢者事故の事例として、逆走プロセスの仮説の構築を行い、逆走が発生し易い時の高齢者ドライバの心理状態や道路構成について確認している。しかしながら、高速道路における路肩の故障車、小動物の飛び出し、落下物、及び作業中による車線の減少等、事故を誘発し易い状況(運転トピックと定義)に着目した解析までは至っていない。本研究では、時間帯と交通流を制御した走行実験を通して、これら運転トピックに対する認知・判断・操作に係る一連の運転行動を解析することにより、高齢者ドライバの特有の運転特性を明らかにする。

3. 実験手法

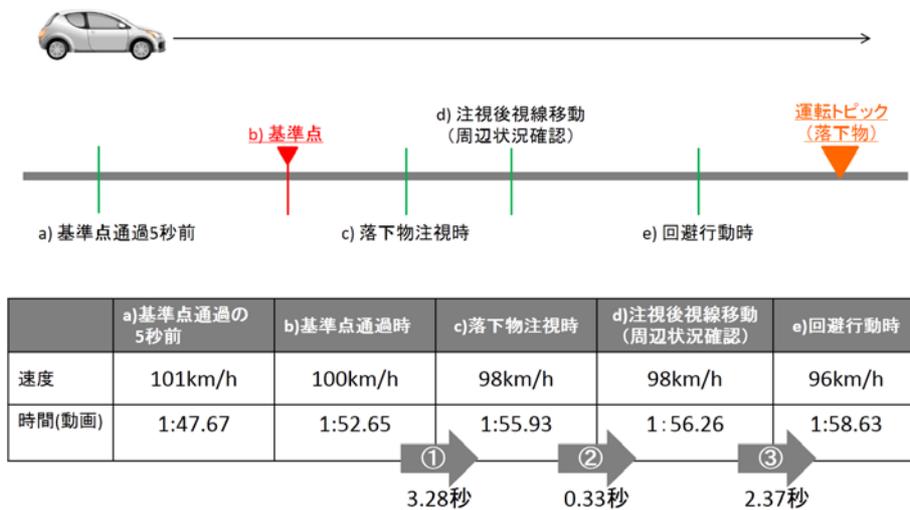
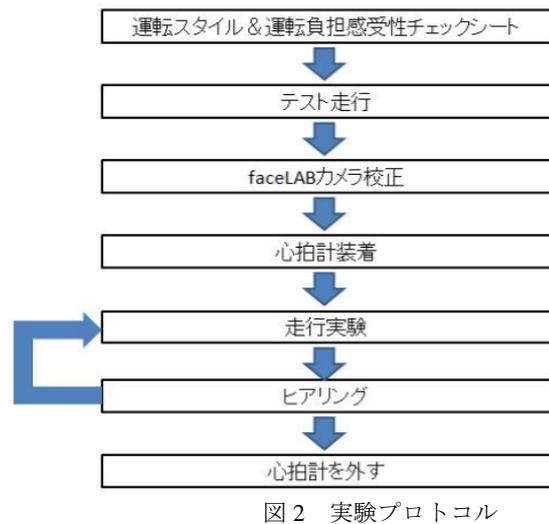
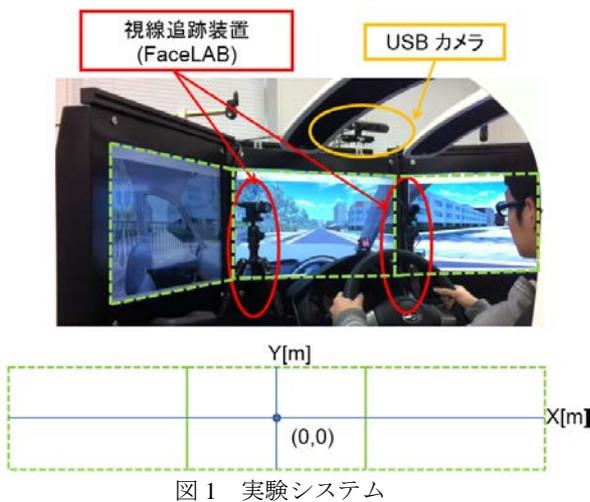
3.1 実験システム

運転行動は多くの人が毎日行なっているが、実環境における道路上での実際の行動から、個人の運転行動特性を明らかにするためには多くの困難が伴う。例えば、運転行動はその時の道路環境や交通状況によって変化するものであり、実際の道路上では、その環境条件や交通状況を一定に保ち再現することができない。そのため、例え行動がばらついていても、それが交通状況の違いによるばらつきなのか、個人の中でのばらつきなのかを明確に区別することはできない。本研究では、運転行動に影響を与える道路環境や交通状況を自由に設定して、それに対する運転行動を計測可能なドライビングシミュレータ(Driving Simulator:以後 DS と略記する)を用いる。図 1 に実験システムの構成を

* 秋田県立大学, Akita Prefectural University

** 徳島大学, Tokushima University

*** Smart Design 株式会社, Smart Design Corp.



示す。実験で用いた DS は、普通車と同程度の操作機器を具備したコンパクト、かつ 6 軸モーション対応のプラットフォーム (SUBARU 型) で、キャビン前方にカラー液晶モニター 3 画面を有し、水平視野角を自由に設定可能な疑似運転環境が再現できる機能を有する。また、図 1 に示すように、ドライバの身体を拘束せずに頭部・顔向き・視線を計測するために、キャビン前方中央の液晶モニターの左右にカメラヘッドを、キャビン前方計測器の上部に赤外線ポッドを設置した。ここで、左右のカメラヘッドと赤外線ポッドは、頭部・視線追跡装置 (FaceLAB) の入力系センサである。なお、複数の被験者による予備試験走行を通して、ステレオカメラヘッド及び赤外線ポッドの設置が運転時の視認性の妨げにならないことを確認している。さらに、ドライバの表情を撮影するために、キャビン前方中央の液晶モニターの上部に USB カメラ (Xtion pro Live) を設置した。

3.2 実験プロトコル

本研究における実験プロトコルの詳細を図 2 に示す。初めに、各被験者の個人特性として、運転に取り組む態度、

志向、考え方を運転スタイルチェックシート[7]、どのような種類の運転負担を強く感じるかを運転負担感受性チェックシート[8]を用いて質問紙方式の検査を実施する。1 回の走行実験は、生体情報として心拍計 (RS800CX) を被験者に装着し、事前に平常時における 1 分間の瞬時心拍数を計測する。次に、被験者の顔向きと視線の計測精度を向上させるために頭部・視線追跡装置 (FaceLAB) のカメラ校正を行なう。なお、被験者の表情を撮影するための USB カメラ (Xtion pro Live) で運転時の顔動画を同時に記録する。これら事前準備の後、各計測装置の時間軸を同期させて、3.3 で後述する 4 種類の走行シナリオに沿って走行する。最後に、走行中にランダムに発生する事象に着目した問診表を用いて、運転トピックに遭遇した際の主観評価 (4 段階評価) も実施した。なお、全ての被験者に対して、秋田県立大学研究倫理審査会の承認を得た後、事前に実験内容を十分説明し、被験者の自由意志により書面により実験参加の同意を得た。特定の被験者からは、実験参加の同意と併せて顔画像掲載の許諾に関する同意も得ている。被験者は若年者ドライバ 10 名 (A, B, C, D, E, F, G, H, I,

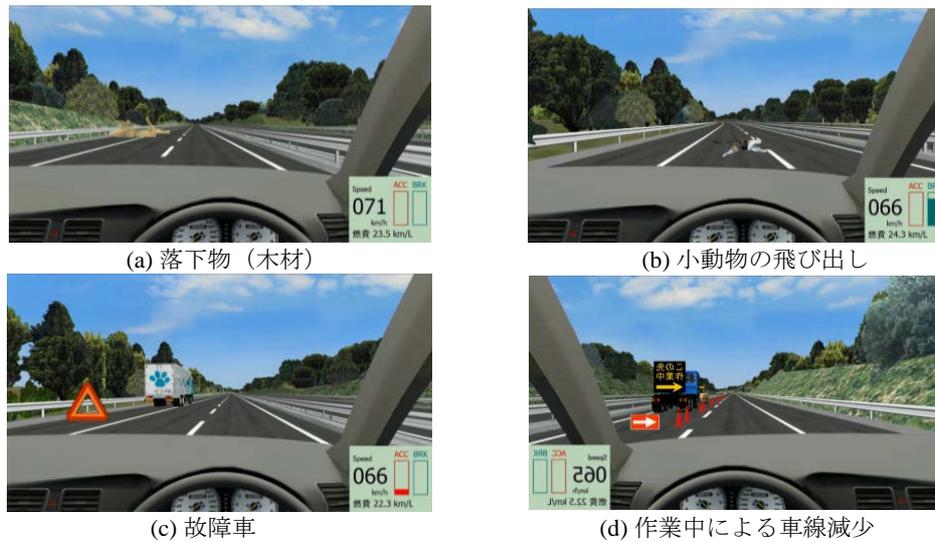


図 4 運転トピック

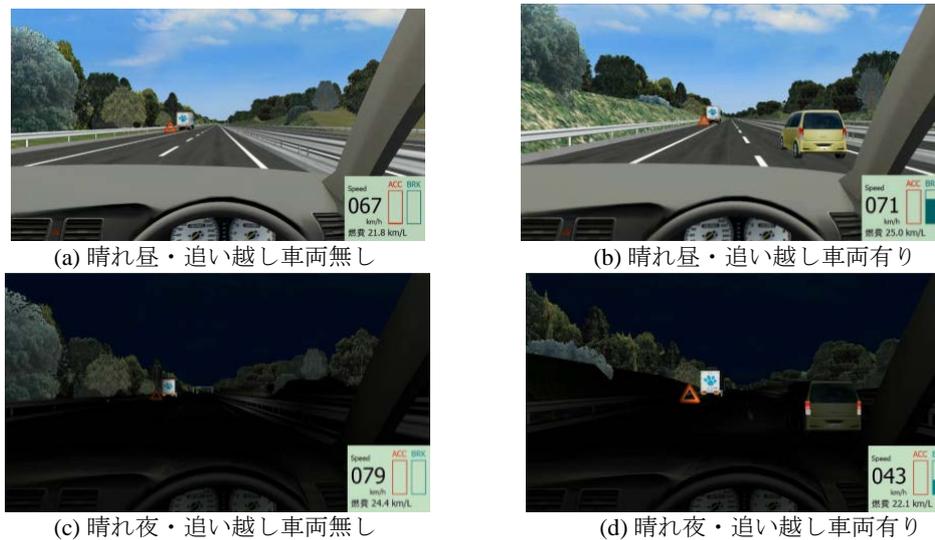


図 5 走行シナリオ

Q: 平均年齢 22 歳), 高齢者 9 名(J, K, L, M, N, O, P, R, S: 平均年齢 62 歳)の計 19 名である。

3.3 運転トピックと走行シナリオ

走行実験で使用するコースは、東北自動車道を模擬した片側 2 車線の進路変更の無い直進コースとし、加速車線から高速道路へ合流する運転シーンから走行を開始する。1 回の走行で発生する運転トピック (路肩の故障車, 小動物の飛び出し, 落下物, 車線の減少) をランダムに設定し、各運転トピックに対するドライバ反応の計測点を図 3 のように設定した。また、各運転トピックの様子を図 4 に示す。図 4-(a)の落下物は、左車線の中央に落下物が設置され、進路を妨害する状態となる。図 4-(b)の小動物の飛び出しは、自車が定点を通過すると自車の前方左側から出現し、自車の進路を塞ぐように右側へと横断するように設定した。図 4-(c)の故障車は、大型トラックが故障によって路肩に駐車

した状態を模擬した。図 4-(d)の車線減少では、追い越し車線が作業中により走行不可で 2 車線から 1 車線に減少する。なお、落下物, 小動物の飛び出し, 及び故障車の各運転トピックと自車が接触した場合は、「衝突」の文字が前方画面に表示されるが、走行実験は継続して実施可能である。

次に、走行シナリオの概要を示す。時間帯による視認性の違いを考慮するために昼と夜の 2 種類の条件を、各運転トピックに遭遇する際の走行条件として、追い越し車両の有無の条件を併せて設定し、図 5 に示すように時間帯 (昼/夜) と交通流 (追い越し車両: 有り/無し) を制御した 4 種類の走行シナリオを定義した。各運転トピックの発生順序は、タイプ A (落下物→小動物の飛び出し→故障車→車線減少) とタイプ B (故障車→小動物の飛び出し→落下物→車線減少) の 2 パターンとした。なお、シナリオ 1 回の走行時間は 7~10 分程度で、各被験者には制限速度 100(km/h)を遵守するよう口頭で指示すると共に、DS側で

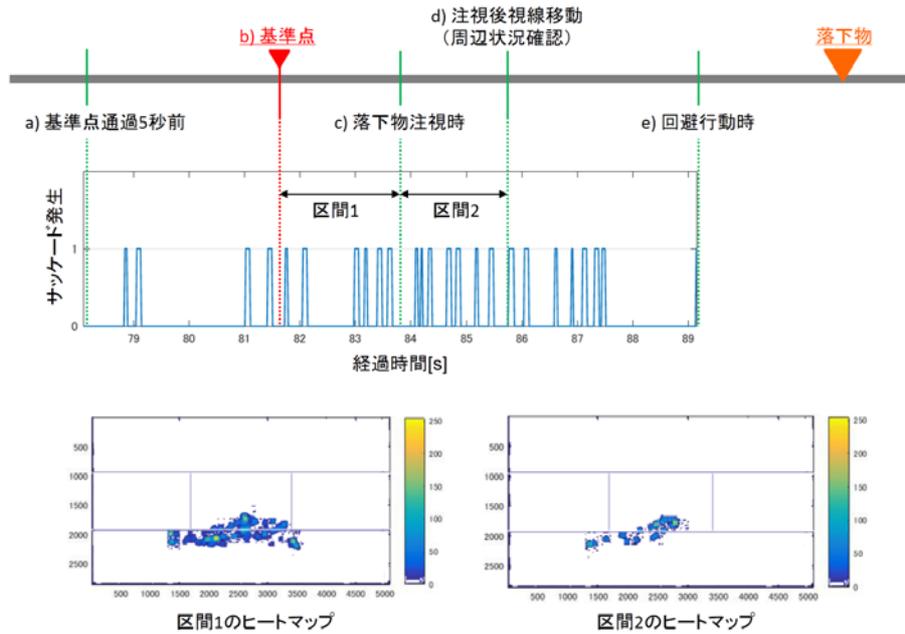


図6 各計測点に対応したヒートマップとサッケードの時系列変化



図7 落下物に対するドライバの反応時間

最高速度を120(km/h)に制限した。

4. 実験結果と考察

4.1 運転トピックに対する計測点とドライバ反応

ドライバの運転トピックに対する注視行動や車線変更に伴う安全確認行動に着目し、図3のように設定したドライバ反応の計測点と視線情報(ヒートマップ, サッケード)の対応関係を検討する。落下物に対する各計測点に対応したヒートマップとサッケードの時系列変化を図6に示す。各ヒートマップは、b)基準点通過からc)落下物注視時まで、c)落下物注視時からd)周辺状況確認まで、d)周辺状況確認からe)回避行動時までの各区間における視線の集中度を表わしている。また、サッケードの時系列変化は、a)基準点通過5秒前からb)基準点通過まで、b)基準点通過からe)回避行動時までの2つの区間に分けて表示している。図6のヒートマップとサッケードの時系列変化から、ドライバの落下物に対する注視状況や車線変更に伴う周辺状況確認な

どに関連したドライバの様子が確認できる。すなわち、b)基準点通過時の自車速度を基に、落下物に対する認知・判断・操作の各行動に要した反応時間の推定が可能となる。

4.2 落下物に対するドライバ反応の分析

図7に運転トピックの1つである「落下物」に対する各計測点における被験者全体、高齢者ドライバ、及び若年者ドライバの反応時間の平均を示す。①はb)基準点通過からc)落下物注視時まで、②はc)落下物注視時からd)周辺状況確認時まで、③はd)周辺状況確認からe)回避行動時までの経過時間である。落下物に対する認知・判断・操作に係る一連の運転行動を分析すると、一般的には、高齢者ドライバは若年者ドライバより各反応時間が長い傾向が見られた。また、被験者全体の平均を基準に各ドライバを分類し、運転スタイルとの関連性に着目して分析すると、以下に示す4つのグループの存在が確認できた。

- ・Aグループ：発見と状況確認が早く、操作に余裕

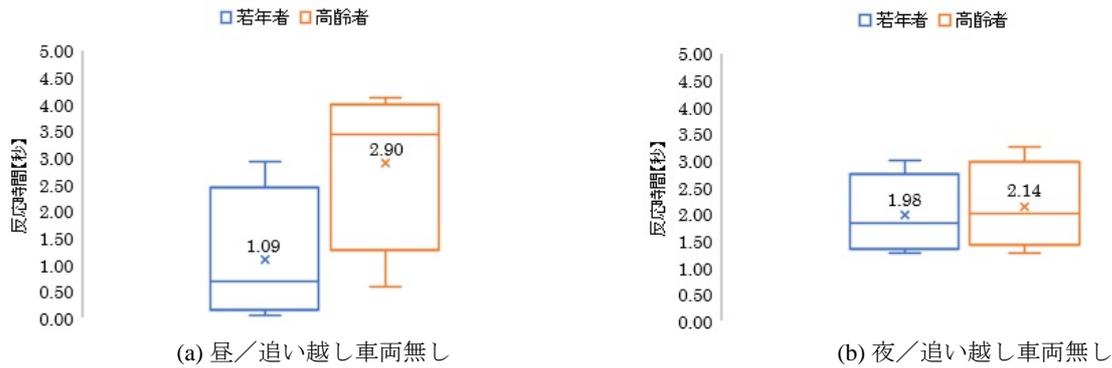


図 8 認知の反応時間 (①)

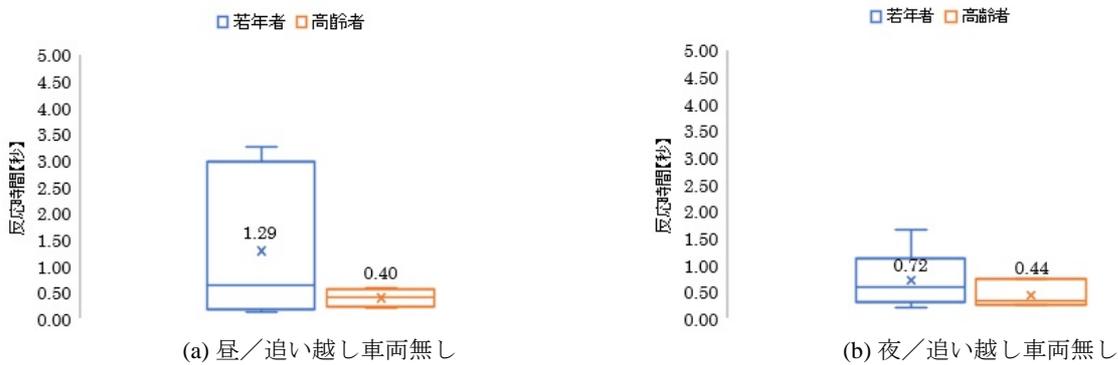


図 9 判断の反応時間 (②)

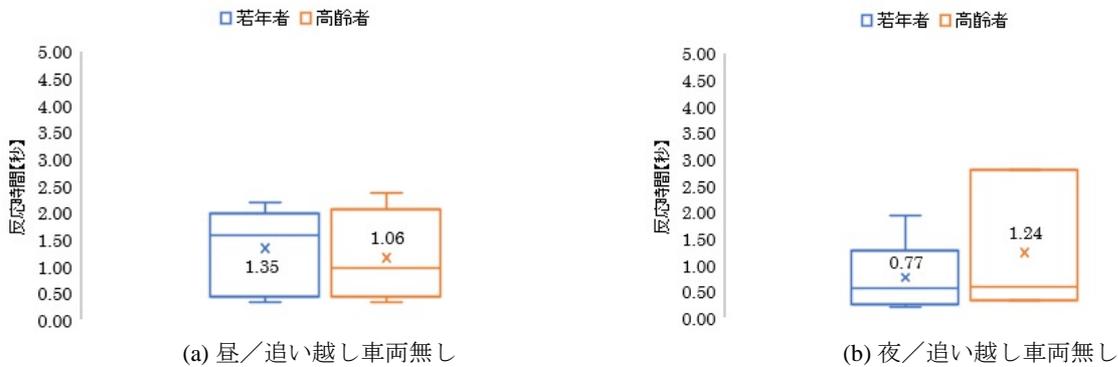


図 10 操作の反応時間 (③)

(認知・判断・行動共に早い)

- ・ B グループ：発見は遅いが早い状況確認と操作で対応 (認知は遅いが判断・行動は早い)
- ・ C グループ：発見と状況確認は遅く、操作も緩やか (認知・判断・行動が緩やか)
- ・ D グループ：全ての反応が平均的 (認知・判断・行動が平均的)

若年者ドライバーが A グループと D グループに分類されるのに対して、高齢者ドライバーは B グループと C グループに分類される傾向が強い。また、高齢化が進むと、運転行動の特性が B グループから C グループへシフトすることが考えられる。

4.3 高齢者ドライバーと若年者ドライバーの比較

4.2 では、落下物に対する認知・判断・操作に係る一連の反応時間を分析した結果、各ドライバーは 4 つのグループ (A, B, C, D) のいずれかに分類される傾向が強いことを示した。ここでは、高齢者ドライバーの落下物に対する運転特性をさらに解明するために、時間帯 (昼/夜) を制御した走行実験データを対象に、高齢者ドライバーと若年者ドライバーの各反応時間の解析を試みる。ただし、いずれも追い越し車両が発生しない条件である。図 8 に「認知」に係る反応時間 (①)、図 9 に「判断」に係る反応時間 (②)、図 10 に「操作」に係る反応時間 (③) を示す。図中、(a)

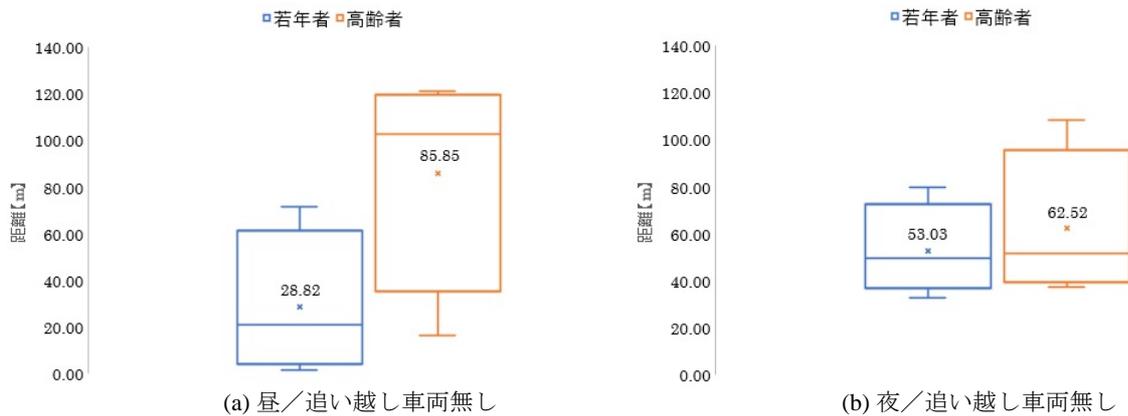


図 11 基準点から落下物までの距離

は時間帯が昼、(b)は時間帯が夜の結果である。図 8 の「認知」に係る反応時間 (①) に着目すると、時間帯が昼の場合、若年者ドライバに比べて高齢者ドライバの反応時間が有意に長い傾向が認められる。一方、時間帯が夜の場合、その差がほとんど認められない。一般的には、夜間での視認性は劣化するものと考えられるが、走行試験終了後のアンケート調査によると、高齢者ドライバにおいては「夜間コースの方が落下物を確認し易かった」という意見が大多数を占めていた。その理由としては、夜間走行時の注視対象が限定的となっていたことが一因と考えられる。図 9 の「判断」に係る反応時間 (②) では、時間帯が昼夜共に、若年者ドライバに比べて高齢者ドライバの反応時間が有意に短い傾向が確認できる。これは、若年者ドライバに比べて高齢者ドライバは運転経験が豊富であることから、その経験知の差によるものと推察できる。図 10 の「操作」に係る反応時間 (③) では、時間帯が昼の場合は差がほとんど認められない。一方、時間帯が夜の場合、高齢者ドライバの反応時間のバラツキが大きい傾向が確認できる。以上の結果を総合的に分析すると、若年者ドライバに比べて高齢者ドライバの「認知」に係る反応時間 (①) は長く、「判断」に係る反応時間 (②) は短い傾向が確認できた。

最後に、「認知」に係る反応時間 (①) と基準点通過時の速度を基に、基準点から落下物までの距離を算出した。その結果を図 11 に示す。この区間では、すべての被験者に対して、等速直線運動を仮定し移動距離を求めた。図 8 の反応時間に比べて、より明確な違いが確認できる。図 11 から理解できるように、一連の運転行動の中でも「認知」に係る運転特性が、若年者ドライバと高齢者ドライバでは大きく異なるため、その後の「判断」と「操作」に大きく影響するものと推察する。特に、高齢者ドライバは経験知を基に判断する能力が高い傾向を有する。すなわち、高齢者ドライバに対しては、安全運転に必要な注視対象を適切に絞込み、かつその注視対象に対して注意資源が向けられるようなフレームワークが有効と考える。

5. まとめ

高速道路における事故を誘発し易い 4 つの状況 (路肩の故障車、小動物の飛び出し、落下物、車線の減少) を運転トピックと定義し、時間帯 (昼/夜) と交通流 (追い越し車両: 有り/無し) を制御した走行実験を通して、各運転

トピックに対する認知・判断・操作に係る若年者ドライバと高齢者ドライバの運転特性を比較分析した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- 落下物に対する認知・判断・操作に係る反応時間を分析した結果、高齢者ドライバは若年者ドライバより各反応時間が長く、特に、認知に関する反応時間が顕著であった。
- 被験者全体の平均を基準に、各ドライバの反応時間と運転スタイルの関連性から、高齢者ドライバを特徴付けるカテゴリの存在を確認した。
- 高齢者ドライバに対しては、安全運転に必要な注視対象の絞込みと適切な注意資源の配分が有効である。

今後は、本研究で得られた知見の統計的優位性を評価し、危険運転予測モデルの精度向上を目指したい。

謝辞

本研究は、NEXCO 東日本(株)の技術研究助成により実施されました。ここに、深謝致します。

参考文献

- 平成 27 年上半期の交通死亡事故の特徴及び道路交通法違反取締り状況について、警察庁交通局
- 上地他, 高齢ドライバに対する安全への取り組み
- 鈴木他, 高齢ドライバに対する交通安全の動機づけ - 交通社会学的視点 -
- 中野他, 指差し呼称を用いた高齢者ドライバ交通事故削減のための注意力向上方法の検討
- [高原他, 高齢ドライバにおける一時停止支援システムの研究
- 飯田他, 高速道路における逆走発生プロセスに関する仮説構築
- 石橋基範, HQL 式運転スタイルチェックシート解説書 (Driving Style Questionnaire : DSQ) 社団法人人間生活工学研究センター(2003)
- 石橋基範, HQL 式運転負担感受性チェックシート解説書 (Workload Sensitivity Questionnaire : WSQ) 社団法人人間生活工学研究センター(2003)
- 阿部他, ドライバの視覚的な注意に対する認知負荷の影響, 日本機械学会論文集(C編), Vol.76, No.767, pp.14-20 (2010)
- 本間他, 低覚醒時におけるドライバの視認行動特性, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.5, pp.1217-1222 (2011)