

<研究課題>MCIを内包する高齢ドライバの不適切な判断の特徴と 神経心理学的特性に基づく教育方策

代表研究者 東京大学大学院新領域創成科学研究科
准教授 小竹 元基

【まとめ】

高齢者の不適切な判断による運転行動の特徴と神経心理学特性に基づいた教育方策の考案が本研究の目的である。神経心理学検査等の臨床指標を用いた機械学習と、先行研究とは異なる地域での実験結果より、神経心理学特性とともに、地域特性等と不適切な判断に基づく不安全な運転との関連が示唆された。前記結果を踏まえ、不適切な判断に伴う不安全な運転に至る要因を考慮した教育方策を考案し、評価実験によりその効果を確認した。

1. 研究の目的

70歳以上の運転者による重大な交通事故は増加しており、このような事故の抑止が重要な課題である。非高齢者と比較して高齢者の事故要因は交通ルール不遵守が少なく、操作不適や安全不確認等の要因が多く、不適切な判断能力が高齢者の事故に影響していると考えられる。また、高齢者の安全運転対策として、免許更新時に認知機能検査の実施が開始され、記憶・判断力等の認知機能がやや低下（第二分類）と判定された人は、運転継続には何ら制限はないが、その運転行動の特徴には不透明な部分が多い。そのため、運転に関わる認知機能が低下した健常高齢者と軽度認知機能障害を内包する第二分類のドライバへの安全運転対策が必要である。本研究では、このようなドライバの日常運転における不適切な判断能力による安全性の高い運転行動の特徴と脳機能である神経心理基盤のデータを同一対象者で把握することにより、それらの特徴を反映した教育方策の提案を行うことが目的である。

先行研究^[1]において、武蔵境自動車教習所と武蔵野市シルバー人材センター（東京都武蔵野市）の協力のもと、75.3±3.6歳の高齢者54名を対象に、安全性の高い運転行動の特徴と神経心理学特性を把握するため、実環境における運転行動の計測と、認知機能検査(Mini-Mental State Examination (MMSE), Frontal Assessment Battery, Trail Making Test (TMT), Wechsler Memory Scale – Revised, Visual Field with Inhibitory Task (VFIT)^[2])を実施した。高齢者が事故を起こしやすい環境である無信号交差点^[3]の通過行動に着目し、運転行動を分析した結果、5種類の速度推移に大

別できた。そのうち1種類は教習指導員の速度推移に類似した安全な速度推移であった一方で、残り4種類はいずれも停止線通過してから交差点進入までの速度が教習指導員よりも高い、不適切な判断に基づいた速度推移であり、不安全であった^[4]。この不安全な速度推移の高齢者(不安全群)は、安全な速度推移の高齢者(安全群)と比較して、基礎認知機能を示すMMSEや注意機能を示すTMTの得点が高く、VFITにより測定可能な単純反応時間が短い傾向にあり、相対的に認知機能が高い傾向にあった^[4]。

本稿では、まず神経心理学特性と不適切な判断に基づく不安全な運転行動傾向との関連性について考察するため、先行研究の対象者の一部に対して追加的に神経心理学検査と視覚機能検査を実施し、それらの臨床指標を用いて高齢者の安全群と不安全群を機械学習により識別した結果について報告する。次に、先行研究における取組みの高齢対象者を増やすために実施した実験とその結果について報告する。最後に、先行研究と本稿における取組を踏まえて考案した教育方策について報告する。

2. 研究方法と経過

2-1 臨床指標と機械学習を用いた不安全な運転行動の高齢者の識別

慶応義塾大学病院の協力のもと、先行研究に参加した高齢者33名を対象に、神経心理学検査として全般的な認知機能を評価できるRaven's Colored Progressive Matrices、記憶・視空間機能を評価できるRey Auditory Verbal Learning Test (RAVLT)とRey-Osterrieth Complex Figure Test (ROCF), Clock Drawing Test (CDT), Everyday Memory Checklist、注意・実行機能を評価できるStroop TestとTMTを実施した。また視覚機能として検査により、矯正遠方視力や機能的矯正遠方視力(CDFVA)^[4]を測定した。CDFVAは5つの指標から構成される(機能的視力, 最大視力, 最小視力, 視覚持続率, 平均反応時間)。なお、使用した検査等はいずれも臨床現場で用いられている検査である。本実験では、実験参加者に実施前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、慶應義塾大学の倫理審査委員会の承認の下で実施した。

高齢者の安全群と不安全群を識別するため、

教師あり学習モデルとして広く用いられている線形サポートベクターマシン(SVM)を用いた。速度推移の安全/不安全を目的変数とし、デモグラフィック情報と神経心理学検査および視覚機能検査の臨床指標を説明変数とした。またモデルの変数選択には LASSO アルゴリズムを用い、識別精度は Leave-one-out-cross-validation により評価した。

交差検証の過程で 5 つの臨床指標(年齢, RAFLT の即時再生得点, ROCFT の遅延再生得点, CDT 得点, 最大視力)が常に選択され、速度推移の安全/不安全を識別する上で、必須な要素であることがわかった。これらの 5 つの指標を用いた SVM モデルでは正解率 90.9% で高齢者の安全群と不安全群を識別できた。学習した SVM モデルで選択された変数の傾向より、老化、注意機能および視覚構造機能の低下、視力の低下が不安全な運転行動と強く関連することが示唆された。

2-2 高齢者の運転行動・認知機能把握実験

宮城県仙台市の奥羽自動車学校と仙台市シルバー人材センターの協力のもと、74.7±4.6 歳の高齢者 49 名を対象に、先行研究と同様な実環境における運転行動の計測と認知機能検査を実施した。自動車教習所の周辺の公道に所要時間約 20 分の実験コースを設定し、ドライブレコーダ(DR)と補助ブレーキを搭載した教習車を用い、高齢者に実験コースを走行してもらい、運転行動を計測した。なお、安全確保のため教習指導員が助手席に同乗した。また、認知機能検査は先行研究^[1]と同様の検査を実施した。本実験では、実験参加者には実施前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

先行研究で分析対象とした一時停止交差点と類似した死角のある交差点として図 1 の交差点を選定し、この交差点における高齢者の速度推移を分類した。厳密な交差点環境は異なるが、全体の約 33% の高齢者が不安全な速度推移として分類され、先行研究の高齢者群における不安全な速度推移の割合(約 34%)と同様の傾向であった。よって、運転者の地域や環境は異なるものの、高齢者における不適切な判断に基づく不安全な運転行動が確認できた。一方で認知機能に着目すると、先行研究の高齢者群では死角のある一時停止交差点を不安全な速度推移で通過する高齢者の認知機能は相対的に高かった。しかし、本実験の高齢者群では認知機能が相対的に低い傾向にあった。運転者の判断およびそれに基づき生成される操作行動は、脳機能である認知機能に影響されると考えられるが、実験結果を踏まえると高齢者の認知機



図 1 対象とする一時停止交差点(宮城県仙台市)

能以外の個人特性や生活移動における地域特性の影響も大きく受けている可能性がある。よって、本研究で対象とする一時停止交差点における不適切な判断に伴う不安全な運転行動は、高齢者の神経心理学的特性により説明できる範囲が限定的であり、他の要素によっても説明できる可能性が示唆された。

2-3 教育方策の考案

2-1 節では不適切な判断に起因する一時停止交差点における不安全な運転行動は、高齢者の神経心理学的特性である注意機能や視覚構造機能、視力の低下と強く関連することが示唆された。一方で 2-2 節では、不安全な運転行動は認知機能により説明できる部分があるものの、個人特性や地域特性の影響も受けることが示唆された。そのため、本稿では神経心理学特性以外の不適切な判断およびそれによる不安全な運転行動に至る要因について検討した。高齢者が適切な判断に基づく安全な運転行動を把握していない場合、適切な判断および安全な運転を実現できない可能性がある。また、適切な判断等を理解していた場合でも、自身の判断および運転行動を客観的に、適切に理解できていなければ、適切な判断および安全な運転行動に自身を変化させることができないと推察される。よって、高齢者が自身の運転行動を客観的に把握し、適切な判断とそれによる安全な運転行動を理解することにより、不安全な運転行動を抑制できる可能性がある。そこで、自身の運転行動と、安全で模範的な運転をする教習指導員の運転行動をそれぞれ高齢者に提示することと、指導員の運転行動に近づけられるようにフィードバック情報を与えて練習することを、教育方策として考案する。

2-4 教育方策の方法

高齢者が自身の運転行動や指導員の運転行動を客観的に認識するためには、実際に自身や指導員が運転した映像を提示するだけでなく、そのときの運転状況を実際に運転したときと同じように一人称視点で知覚・認識することが重要であると考えた。また、実際に運転した環境において繰り返し練習することにより、自身と指導員の行動の差異を認識し、適切な判断に

よる安全な運転行動に変化させやすいと考えた。その考えに基づき、以下の手順で高齢者に情報を与え、運転を練習・経験させることにより、高齢者の不安全な運転行動の改善を目指す。

1. 高齢者自身が対象交差点を運転した DR 映像と DS を用いて運転状況を再現した映像を提示する。
2. 教習指導員が対象交差点を運転した DR 映像と DS を用いて運転状況を再現した映像を提示する。
3. DS を用い、高齢者自身と指導員の運転行動の差異を示すフィードバック情報を提示し、対象交差点の運転練習を繰り返す。

図 2 に示す実環境映像を用いたドライビングシミュレータ(DS)を構築した。本 DS はディスプレイ 3 台とハンドルコントローラで構成され、視野角は約 270° あり、車両前方だけでなく、車両側方の状況も提示できることが特徴である。実環境で予め撮影した映像の再生速度を変更し、一人称視点で高齢者に運転状況を提示できる。この DS は、高齢者自身と教習指導員の運転行動を再現でき、さらに実際に存在する交差点環境における運転を繰り返し練習できる。また、教習指導員の運転に近づくフィードバック情報として、図 3 に示すように教習指導員の速度よりも閾値以上高くなった場合に、DS 画面上に色のついたバーを表示し、高齢者に速度が高いことを通知するインターフェースを実装した。その際、運転時の確認行動に影響せず、周辺視で知覚できるように工夫した。

2-5 教育方策の評価

提案した教育方策の効果を評価するため、教育方策を実施する前後の DS および実車の運転を比較した。柏市シルバー人材センターの協力のもと、73.4 ± 2.6 歳の高齢者 10 名(KE01 - KE10)を対象に実験を実施した。まず公道に設定した実験コースを走行する運転行動の計測と、実験コース内に存在する一時停止交差点を再現したシミュレータにおける運転行動の計測を行い、提案した教育方策を実施した。その後、再度シミュレータおよび実車を用いた運転行動の計測を行った。なお、本実験も公道における実車を用いた運転行動計測では補助ブレーキ付きの教習車を用い、安全確保のため教習指導員が助手席に同乗した。実験参加者には実施前に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得ており、東京大学ライフサイエンス委員会倫理審査専門委員会の承認の下で実施した。

KE04 と KE05 の 2 名は DS 運転時にシミュレータ酔いの症状が見られたため、分析対象外とした。また KE07 は実車運転時のデータ計測に不備があったため、実車運転の分析対象

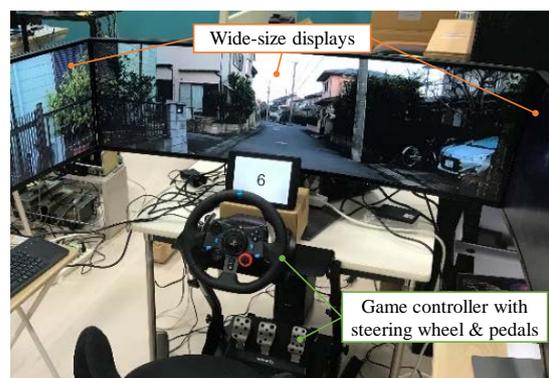


図 2 実環境映像を用いた DS



図 3 速度超過を示すフィードバック情報

外とした。不適切な判断に基づく不安全な速度推移の特徴として、停止線から交差点進入に至るまでの速度が高い特徴がある。そこで、運転行動が改善したことを評価する指標として、停止線から交差点に進入するまでの区間における平均速度を設定した。

教育方策の実施前後で評価指標を比較した結果、シミュレータ運転では教育後に平均速度が有意に低下した($p < 0.01$, ウィルコクソンの符号順位検定)。図 4 に教育実施前後に対象交差点を各実験参加者がシミュレータで 5 回ずつ走行した際の評価指標の平均値を示す。さらに、実車運転においても平均速度は有意に低下した($p < 0.05$, ウィルコクソンの符号順位検定)。図 5 に教育実施前後に対象交差点を各実験参加者が実車で 2 回ずつ走行した際の評価指標の平均値を示す。ただし、実験参加者の交差点通過中に他の交通参加者が存在したデータは除外した。以上の結果より、提案した教育方策の実施前後で不適切な判断に伴う不安全な運転行動が改善された。また、交通環境が統制され、繰り返し運転練習を行ったシミュレータ環境だけでなく、実環境においても教育前後で運転行動に差異が見られた。

高齢者に対して実環境における運転を模擬

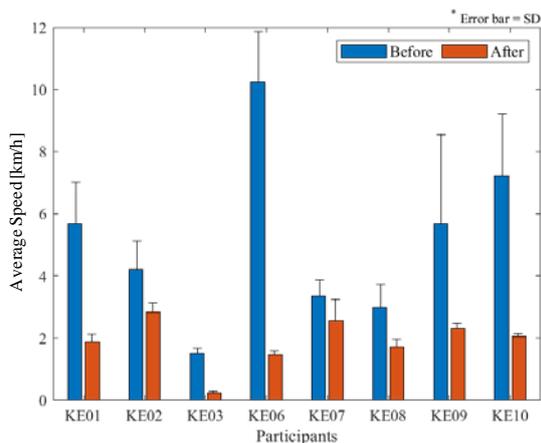


図4 教育方策前後のシミュレータ運転の比較

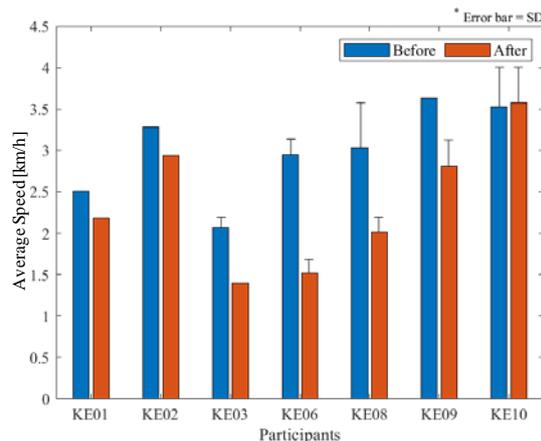


図5 教育方策前後の実車運転の比較

し、適切な判断に基づく安全な運転行動との差異を自らの運転行動をフィードバック情報として繰り返し練習することで、高齢者が自身の運転行動を客観的に理解し、安全な運転行動と合わせて理解した結果、シミュレータ環境だけでなく実環境における運転行動も改善された。よって考案手法は、運転映像やシミュレータ映像に基づき、安全な運転行動および自身の運転行動を適切に把握できる高齢者に対して効果的である可能性が示唆された。

以上より、本研究で提案した教育方策により、実環境の一時停止交差点における不適切な判断に伴う不安全な運転行動を改善できた。

3. 研究の成果

本研究を通して以下の成果を得た。

- 先行研究の高齢者を対象に、神経心理学検査と視覚機能検査の臨床指標と機械学習を用いて、不適切な判断に基づく不安全な高齢者と安全な高齢者を識別した結果、約90%の精度で識別できた。また学習で選択された変数の傾向より、老化、注意機能・視覚構造機能の低下、視力の低下が不安全な運転行動と関連することが示唆された。
- 先行研究と同様の実環境における運転行動計測実験と認知機能検査を実施した結果、先行研究と同様の一時停止交差点にお

ける不適切な判断に基づく不安全な運転行動が確認できた。しかし一方で、安全性の高い行動を示した高齢者の神経心理学特性は先行研究と異なる傾向を示し、不適切な判断および不安全な運転行動に対する認知機能以外の個人特性や地域特性等の影響が示唆された。

- 高齢者が不安全な運転行動に至る要因として、自分自身および安全な運転行動を把握していないことを考え、その運転行動を理解させる教育方策を考案した。実環境映像を用いたDSを構築し、高齢者対象に当該DSを用いた教育方策を実施した結果、不適切な判断に伴う不安全な運転行動を改善できた。

4. 今後の課題

不安全な運転行動と神経心理学特性の関係については、個人特性や地域特性の差異を踏まえた分析や、頭部MRIや光トポグラフィ等を用いた医学的指標の計測および分析が今後の課題である。また提案した教育方策については、方策の効果を見極めるため、評価実験の実験参加者を高齢者だけでなく、非高齢者についても今後増やす予定である。さらに、本研究では方策による短期的な変化は評価できたが、効果の持続性についても今後評価が必要である。

5. 研究成果の公表方法

本研究の内容は、自動車技術会2020年秋季大会で発表し、自動車技術会論文集に同時投稿する予定である。また、自動車技術会ヒューマンファクター部門委員会、アクティブセイフティ部門委員会において、収集データの特性、知見を共有することにより、高齢者事故低減化のための教育方法、予防安全技術方策を議論する予定である。

参考文献

- [1] 吉武宏ら、高齢運転者の無信号交差点における運転行動特徴と視覚・認知機能の関係、自動車技術会2018年秋季大会学術講演会、114、2018。
- [2] 藤田佳男ら、脳損傷者・高齢者の自動車運転リハビリテーションに向けた有効視野測定法の開発、リハビリテーションエンジニアリング、Vol. 23, pp. 36-44, 2008。
- [3] 交通事故総合分析センター、高齢運転者の出会い頭事故を防ぐには～信号機なし交差点では特に注意～、イタルダイナムフォーメーション、No. 119, 2016。
- [4] K. Negishi et al., Relationship between functional visual acuity and useful field of view in elderly drivers, PloS one, Vol. 11, No. 1, e0147516, 2016。