

実生活における

運転支援エージェントの運転行動への影響分析

Analysis of Impact of Driving Support Agent on Driving Behavior in Real Life

田中 貴紘¹ 藤掛 和広² 吉原 佑器¹ Nihan Karatas¹ 青木 宏文¹ 金森 等¹

Takahiro Tanaka¹, Kazuhiro Fujikake², Yuki Yoshihara¹, Nihan Karatas¹,

Hirohumi Aoki¹ and Hitoshi Kanamori¹

¹名古屋大学 未来社会創造機構

¹Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

²中京大学 心理学部

²School of Psychology, Chukyo University

Abstract: 高齢ドライバーによる交通事故率低減に向け、自己認識による運転行動改善を促すドライバエージェントの研究開発を進めている。本論文では、運転支援・振り返り支援を行うドライバエージェントを、実生活において継続使用する実験を実施し、提案エージェントによるドライバーの運転行動の改善や自己認識の変化、継続使用による慣れ・飽きがエージェントの印象に与える影響を分析した。分析の結果、エージェントの支援により、運転行動改善効果、自己認識の変化、および継続使用によるエージェント印象評価の向上が確認されたため、これを報告する。

1. はじめに

近年、高齢ドライバーによる交通事故率が増加している。交通事故による死者数は年々減少傾向にあるが、年齢層別事故率では 65 歳 - 74 歳が他の年齢層と比較して事故を起こし易いと報告されている[1,2]。事故の原因の一つとして、加齢による認知機能や視覚機能などの変化の影響が指摘されている。また、長年の運転経験からか、高齢になるほど自身の運転スキルに対する自信も強くなる傾向があり、過信による影響も懸念される[3]。一方、高齢者の移動手段として自家用車の比率は最も高い[4]。免許返納等による運転習慣の欠如は QOL 低下だけでなく、認知症を発症し易くなるとの報告もある。近年注目を集める自動運転車の実現により、高齢ドライバーを含む交通事故減少が期待されるが、完全自動運転車が実現し普及するにはまだまだ時間が必要であり、高齢者が安心安全に運転できるよう支援が急務である。

ドライバーへの情報提示に関して、小型ディスプレイやカーナビ、HUD などの情報提示機器や、音や音声、振動等による提示などの試み[5]があるが、高齢者への伝わりやすさ等考慮が必要である。また、事故回避のための運転支援として、自動ブレーキ等の先進予防安全装置の標準搭載が進められている。事

故を未然に防ぐのに効果的であるが、その効果はセンサ等の認識精度に依存するため環境による影響を受け易く、また特定条件下（時速 20km 以下等）のみ有効など制限が多い。さらに、支援に対するドライバーの過信・依存といった負の適応[6]によって、かえって危険な運転になるとの指摘もされている。装置の有効性を高めるためにも、クルマ側の装置に加え、ドライバーへの働きかけにより、平時の運転行動をより安全に変容させることも必要である。

本研究では、高齢ドライバーの事故率低減に向け、ドライバーに自身の運転行動を認識させることで、より安全な運転行動への変容を促すことを目的としたドライバエージェントを提案し、研究開発を進めている[7]。本報告では、実生活における提案エージェントの継続使用実験を実施し、ドライバーの運転行動の改善や自己認識の変化、継続使用による慣れ・飽きがエージェントの印象に与える影響を分析した。その結果、エージェントの支援により、運転行動改善効果、自己認識の変化、エージェント印象評価の変化向が示唆されたため、これを報告する。

2. 運転行動改善を促すエージェント

本研究では、高齢ドライバーの事故率低減を目標に、

“家にあるロボット（エージェント）を車に持ち込み運転支援を受け、家では空き時間に振り返り支援によるフィードバックを受ける”というコンセプトの元に、より安全な運転行動への変容を促すドライバエージェントを提案する。

2.1. エージェントによる運転行動の改善

2.1.1 事故低減に向けたアプローチ

高齢者を対象にドライビングシミュレータによる一時停止交差点通過実験[8]を行ったところ、認知機能や視機能の低下により衝突率が増加することが確認された。一方、自身の運転能力を認識している高齢者群は、生体機能低下の影響を受け難く、機能低下を安全な運転行動で補償している可能性が示された。よって、自身の運転に対する適切な認識を持ち、加齢の影響を受け難い運転行動へ変容を促すことで、事故率を低減する効果が期待できる。

運転行動変容のためには、自己認識と自己改善が重要とされる[9,10]。よって、ドライバの運転行動を評価し、アドバイスと共にフィードバックすることが必要である。一方、既存の運転評価アプリ/サービスで使用される加速度センサを用いた評価は、車両挙動（運転の滑らかさ）の評価であり不十分と言える。運転行動3要素の「認知・判断・操作」のうち、認知や判断に関わる運転行動の評価が必要である。

高齢者ドライバの事故低減に関し、同乗者が1名以上居る場合に事故率が低下することが報告されている[11]。これは同乗者効果と呼ばれておりドライバが高齢になるほど効果が高い。同乗者による情報提供や注意喚起の効果、人に見られている/人を乗せていることによる、規範運転順守の意識向上や運転への注意力向上などが理由として挙げられる。運転する際に常に同乗者（もしくは同様な効果を発揮するもの）を用意することができれば、事故低減の効果が期待できると言える。

2.1.2 予防安全システムの受容性向上と HAI

人の行動変容を行うためには、一定期間以上の継続的な働きかけ・反復練習が必要となる[10]。ドライバに継続的に使用してもらうためには、システムやサービスの受容性が重要となる。予防安全システムは、一般的にドライバへの事前の情報提供や注意喚起・警告等により事故リスクを回避する。事前の働きかけによってリスクを回避できた場合、ドライバにとっては働きかけがあったにも関わらず「何も起こらなかった」と認識され易く、煩わしさなどから予防安全システムに対する受容性の低下が懸念される。行動変容のためには、事前の働きかけと受容性

低下の関係性を逆転させる必要があると考えられる。

人同士のコミュニケーションにおいて、他者には自分に予測不可能な部分が必ず存在する。よって、円滑なコミュニケーションのため、人は相手の心の部分的なモデルを構築し、これによって予測することでコミュニケーションを行っている（心の理論[12]）。即ち、相手の言動の意図や理由を自身で推測して納得していると言える。これは人が心があると認識する対象に対して自然と適用するとされている。また、著者らは、高齢ドライバを対象に注意喚起・アドバイスを行う同乗者の属性に関するアンケートを実施した[13]。配偶者や子供、友人からの運転アドバイスは受容性が低く、クルマやロボットなどの人工物からであれば運転指導員と同様に、受け入れられ易い傾向が確認された。

以上から、予防安全システムの一つである運転支援エージェントのインタフェースに擬人化した小型ロボット（RHMI）を採用することで、心の理論の適用による「事前働きかけに対する意図理解と納得」をドライバに促し、予防安全システムへの受容性低下を抑制し、さらには、同乗者効果の喚起を目指す。本研究では、商用の小型コミュニケーションロボットを RHMI として使用する。これは、普段から家庭内で使用されるロボットに対する愛着や信頼感が、バイアスとして支援に対する受容性もより高めると期待するとともに、運転支援専用ロボットの開発コストやリスク削減のためである。

2.2 ドライバエージェント車載システム

開発中のドライバエージェント車載システムの構成を図1に示す。本システムは既販車に取り付け使用することを想定している。エージェントは入力情報として、車内に設置したスマートフォンのカメラから取得した前方映像、内蔵 GPS と加速度センサ等

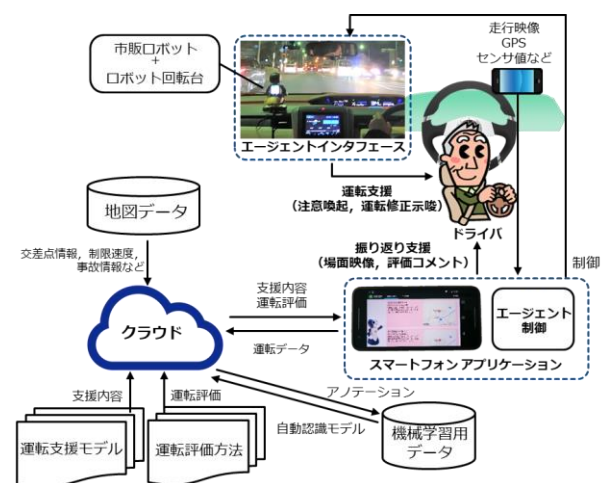


図1. ドライバエージェントシステムの構成

のセンサ値、GPS から算出した車速を取得する。取得したデータはアプリケーションを介してクラウドに適宜アップロードされる。クラウドでは、入力情報を元に運転支援モデルを適用し、エージェントの運転支援内容を選択する。運転支援の対象場面は、まずは高齢者の事故率が高い一時停止交差点を対象とし、適宜場面の追加を行っている。選択された支援内容は、アプリケーションを介してエージェントインタフェースに送られる。

運転支援：ドライバへの提示は、ダッシュボード上、または運転席付近に設置した小型ロボットとロボット回転台座を用いて行う。エージェントによる運転支援は、注意喚起と運転修正示唆の2種類とし、音声と動きを併用した表現とする。ドライバへの運転阻害を避けるため、動きの種類は設けていない。また、運転中、視界内の「顔」は誘目効果が高いことが報告[14]されているため、ロボットの向き回転台で制御し、運転阻害を抑制する。

振り返り支援：クラウドに送られたデータを元に、運転場面ごとに運転評価を行い記録する。運転終了後、運転評価結果を元に、1回の走行における良い/悪い評価場面を複数場面選択し、評価とアドバイス、および地図上の位置をリストとしてドライバに提示する。ドライバが任意の場面を選択すると、記録された走行映像の中から、評価発生時刻前後5秒の短い動画を再生し、ロボットがアドバイスを読み上げる。また、ドライバの振り返り実施状況把握のため、評価の既読管理も行う。

上記に加え、運転支援および運転評価コンテンツの追加に向け、収集データから自動認識モデルを生成する試みを進めている。クラウド上で任意場面の映像データを自動カテゴライズし、アノテーションを付加して機械学習用データの作成を行い、自動認識モデルの生成に使用している。

3. 実験：実生活における継続使用

提案エージェントによるドライバの運転行動の改善や自己認識の変化、エージェント印象評価を分析するため、実生活におけるエージェントの継続使用実験を実施した。

3.1 実験方法

実験は、図1に示した車載システム1式（スマートフォン、ロボット、回転台）を被験者の自家用車に設置し、日常生活での使用記録の収集とアンケートによる評価を実施することで行った。使用する小型コミュニケーションロボットは、シャープ製RoBoHoNとした。実験期間は約3か月間とし、1か

月ごとに実験条件を変更して実施した。実験条件は、車内にスマートフォンのみを設置してドライバの運転データおよび運転評価値を取得する「エージェントなし条件」と、スマートフォンとロボットを設置して運転支援および振り返り支援を行う「エージェントあり条件」の2種類とした。実験実施順は、まず、ドライバ本来の運転データを収集するため「エージェントなし条件」を1か月間実施し、次に支援効果を検証するため「エージェントあり条件」を1か月間実施した。最後に、改善効果の継続性検証のため、再度「エージェントなし条件」を1か月間実施した。

運転支援は、一時停止交差点への接近通知（例：“一時停止があります”）と安全確認行動示唆、住宅路走行時の車速注意喚起（例：“何キロぐらいが安全かなあ”）、一般道走行時の法定速度超過注意喚起（例：“安全な速度で行きましょう”）、急加減速発生の示唆（例：“うわっ！/おっと！”）、とした。

運転評価は上記の支援場面ごとに運転ログから評価値を算出した。一時停止交差点通過評価は、交差点内での停止と安全確認時間を元に5段階評価（悪い：1・2、良い：4・5）として算出し、うち評価1は交差点内での完全停止（車速0km/h）がないこと意味する。走行速度評価は、走行中の道路の法定速度と車速から超過分に依りて2段階評価とし、同様に急加減速評価は、加速度センサ値と車速から揺れの大きさに基づき2段階で算出した。運転後、走行中に良い/悪い評価が発生していた場合は、振り返り場面としてスマートフォンアプリにてドライバに提示した。なお、ドライバには評価場面を毎回確認するよう教示した。

被験者は、全員が運転免許を保有し、日常的に運転を行っている3名（被験者A：43歳女性、被験者B：57歳女性、被験者C：37歳女性）とした。運転頻度や距離、走行場所等に関する一切の教示は行わず、普段通りの運転を行わせた。

3.2 収集データ

実験期間を通じて、スマートフォンを介して取得する前方映像、GPS、車速、スマートフォンセンサ値（加速度センサほか）、運転評価値は、実験条件によらず取得した。

実験開始時は、TMT A/B、運転スタイルチェックシート（Driving Style Questionnaire）、運転負担感受性チェックシート（Workload Sensitivity Questionnaire）、道具的依存度欲求テスト、日常運転アンケート（図4）を実施してデータを取得し、実験終了時はTMTを除く同様のデータを取得した。

エージェントあり条件（2か月目）では、毎週後

に、日常運転アンケート、ドライバエージェント印象評価（図 5）、運転支援機能印象評価、振り返り支援機能印象評価を実施し、使用する小型ロボットの評価として Godspeed アンケートを実施した。

3.3 仮説

先行研究[15,16]では、ドライビングシミュレータ実験や公道実車実験にて、エージェントによる運転行動改善効果と高い印象評価が確認されている。よって、仮説として、1. 実生活でのエージェントの継続使用でも運転評価が改善する（安全確認時間は長く、急加減速回数は減る）、と予想される。自己認識の変化により行動変容が起こると考えられるため、2. 日常運転アンケートの結果は、過信状態から適切な認識へと変化が発生する（初期値より低下して安定）、と考えられ、自己認識の変化による行動変容効果は継続することから、3. 使用終了後の3か月目の運転評価は2か月目と同程度となる、と期待される。エージェントの印象評価は、擬人化 RHMI の効果もあり、4a. 実生活での使用においても高い印象評価（受容性）が得られる、一方で、継続使用はエージェントに対する物珍しさもなくなり、慣れや飽きの影響から、4b. 継続時間に従って当初よりもエージェントの印象評価値は低下する、と考えられる。

4. 分析

本章では、取得したデータを分析し、提案エージェントによる運転改善効果や印象評価に関して分析する。本報告では、3名の被験者のうち、実験データ収集が完了した2名（被験者 A, B）のデータを対象に分析を行った。以降、実験開始1か月目をフェーズ1、2か月目をフェーズ2、3か月目をフェーズ3として記述する。

4.1 被験者の運転行動概要

実験は、被験者 A・B とともに、8月下旬から12月中旬の期間で実施した。期間内の総走行距離は、A が 717km, B が 795km となった。運転日数は、A が 42 日, B が 57 日となり、両者ともフェーズ2の運転日数は他のフェーズよりも多くなった。一方、フェーズ3は共に減少しており、テレワーク移行など新型コロナウイルスに対する外出自粛の影響も見られた。運転環境では、A は短距離/短時間の運転が多く、自宅近くに一時停止交差点が多いため通過回数が増える傾向が見られた。一方、B は幹線道路など道路幅が広い道を走行することが多い傾向が見られた。

4.2 分析結果

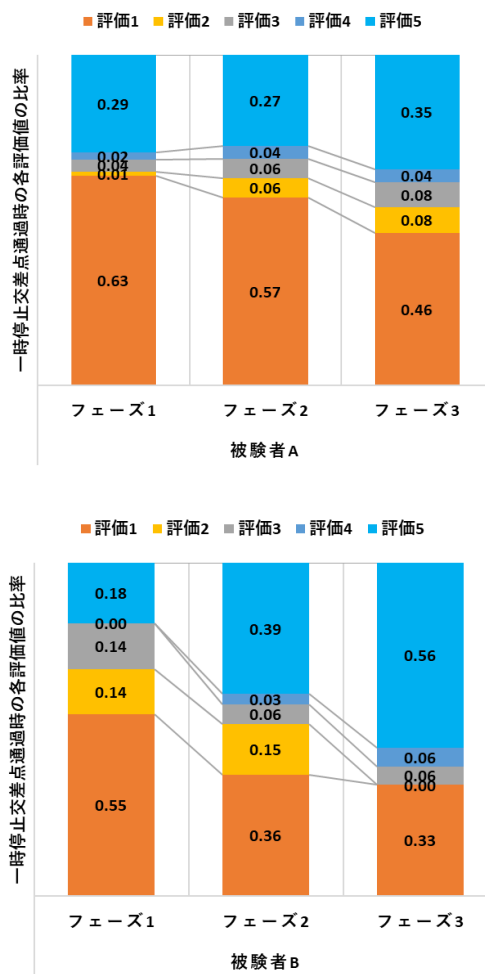


図 2.一時停止交差点運転評価の発生比率推移

4.2.1 運転評価

エージェントの支援による運転評価の変化の分析を行った。フェーズごとの一時停止交差点通過評価値と急加減速評価の発生比率を比較した。図 2 に一時停止交差点運転評価 (1~5) の発生比率の推移を示す。フェーズ1とフェーズ2を比較すると、エージェントの働き掛けがあったフェーズ2で、共に評価1（交差点内での完全停止なし）の比率が減少し、評価2以上の発生比率が増加する結果となったことから、支援による安全確認時間の増加が確認された。両被験者共に改善が見られたが、被験者 B の改善度合いはより顕著であった。また、支援終了後のフェーズ3でも、両被験者共に前フェーズからの改善が見られた。

図 3 に走行距離 10 kmあたりの急加減速評価発生比率の推移を示す。フェーズ1と比較し、フェーズ2で発生比率が大きく減少する結果となった。また、一時停止交差点と同様に、支援終了後のフェーズ3

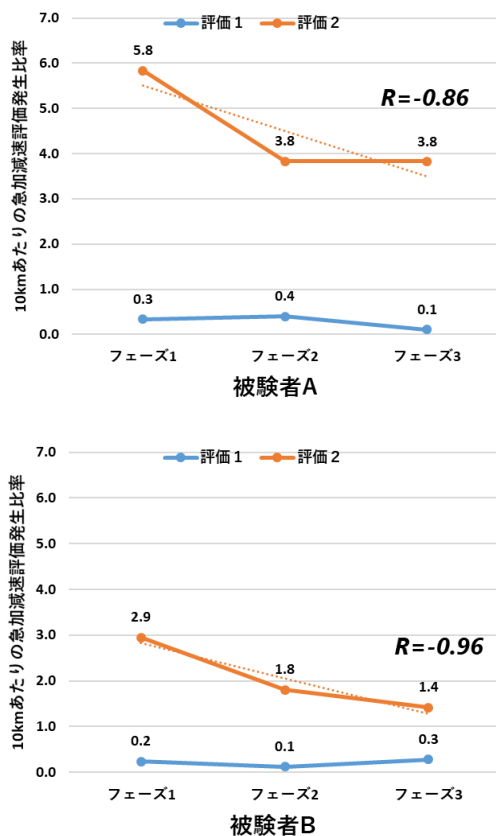


図 3.10km あたりの急加減速評価の発生比率推移

においても同程度以上の改善が見られた。評価 1 は大きな揺れの検知結果となるが、他の評価と比較してフェーズ間の差は小さく、運転行動とは別の現象（ドアの開閉、取り付け作業など）を検知したと考えられる。

4.2.2 日常運転アンケート（運転の自己認識）

ドライバの自己認識の変化の分析を行った。日常運転アンケートの各項目の時系列変化を図 4 に示す。設問は、走行速度・走行位置、一時停止交差点での停止と安全確認、急発進急ブレーキ、安全運転・危険予測の意識に関して、7 件法での評価とした。ここでは、運転評価のフィードバックを行った一時停止交差点と急加減速の評価に着目する。両被験者共に、実験開始および支援開始初期（フェーズ 1～フェーズ 2 第 1/2 週）は高い自己評価を回答している。しかし、フェーズ 2 の時間経過と共に、運転評価関連項目の自己評価の低下が見られた。該当期間の内観報告では、「安全運転しているつもりだったが良くない点を自覚するようになった」「自分の中ではもう少し運転することに対し高い意識を持っていたと思っていたが認識の甘さが指摘された」と報告があった。一方、フェーズ 2 後半から低下した自己評価の上昇

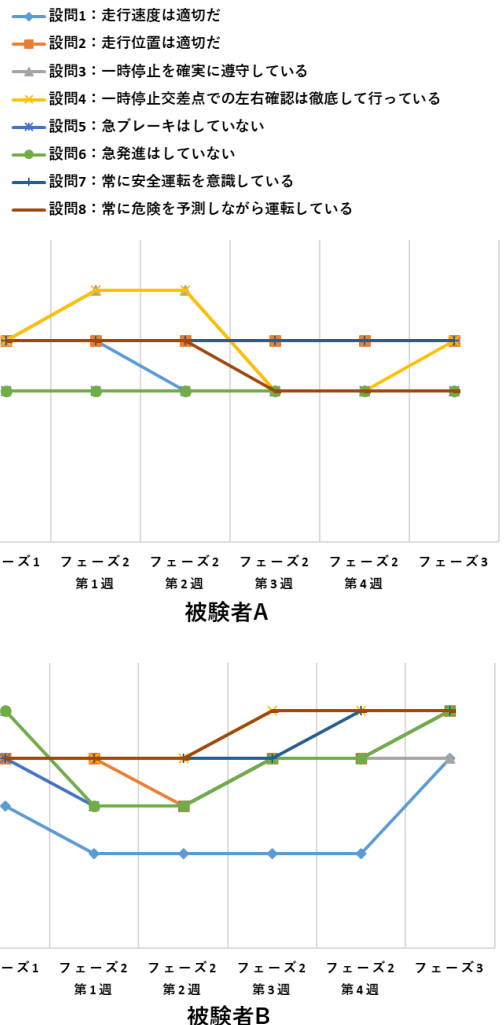


図 4. 日常運転アンケートの回答結果推移

が見られた。同様に、内観報告では「意識していても安全運転ができていないわけではないなとよく感じます。」「かなり意識しつつ運転にも安全第一で集中出来るようになった気がします。」との報告があった。即ち、両被験者に共通して、フェーズ 2 期間内での自己評価の低下と上昇が確認された。

4.2.3 ドライバエージェントの印象評価

フェーズ 2 期間中のドライバエージェント印象評価の推移の分析を行った。「好ましさ」「信頼できる」「親しみを感じる」「使いたい」「運転に役に立つ」「より安全に運転できる」「不快でない」「わずらわしくない」「邪魔でない」「協力して運転した」の各項目 7 件法での評価結果を図 5 に示す。期間中の各評価は、両被験者共に高い評価（最低 4, 最高 7）が得られた。また、運転の自己評価低下のタイミングで、信頼性 (B), 使用意欲 (B), わずらわしさ (B), 協力して運転した (A,B) の項目で一時的な低下が見

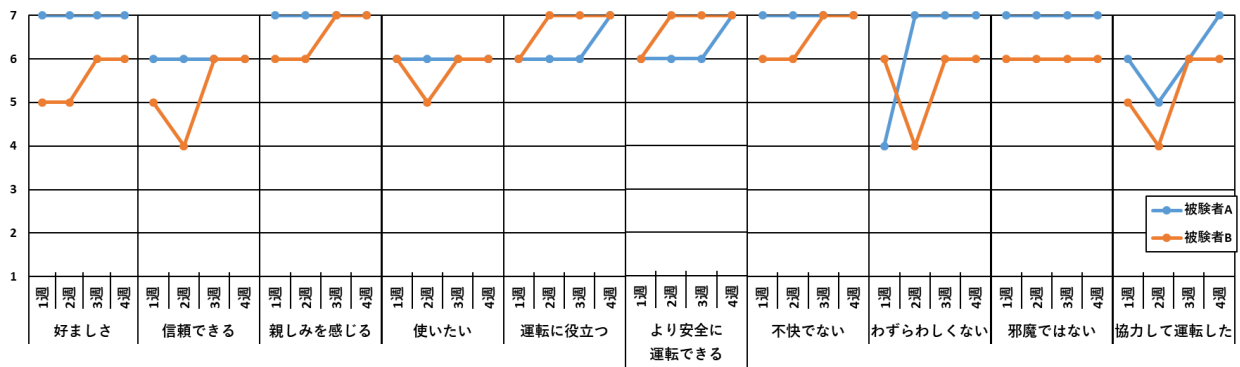


図 5.フェーズ 2 におけるドライバエージェント印象評価 (7 件法) の推移

られた。これらはエージェントの有効性に関する項目が大半であり、エージェントからの運転に関する指摘が影響したと考えられる。一方、受容性に関わる評価項目は高い評価を維持している。フェーズ 2 の時間経過と共に評価値は上昇しており、両被験者共に、全項目でフェーズ 2 第 4 週の評価が最も高い評価となった。内観報告では、「車から降車させ持ち帰り自宅で関わる事で一体感が増すと感じます」「ロボットが加わる事で同じ機械でも何かしら血の通った温かみを感じられた」など報告された。図 6 に小型ロボットの評価として行った Godspeed アンケート結果の時間推移を示す。好ましさや知性の知覚の評価は、使用開始当初よりも継続するほど低下しており、適応ギャップ[17]の影響が示唆される結果であった。

5. 考察

実生活でのエージェントの継続使用により、両被験者共に運転行動の改善（一時停止安全確認時間延伸、急加減速発生頻度減少）が見られた。よって、仮説 1 の提案エージェントによる運転行動改善効果は支持された。また、フェーズ 2 期間中には、運転の自己評価の低下と再上昇が共通して確認された。エージェントによる支援・評価が、両被験者の運転に対する自己認識に影響したと考えられる。特に、当初の高い評価が一度低下していることから、実際の運転評価よりも高い自己評価（過信）がエージェントの指摘により適切なレベルに訂正されたと推測される。フェーズ 2 の後半から自己評価が再上昇しているが、これは運転評価の改善を伴っていることから、当初の過信状態とは異なり、実運転行動を伴う自己認識と考えられ、仮説 2 を支持するものと言える。また、エージェントの支援が終了したフェーズ 3 においても、運転行動改善効果が継続して見られた。ドライバが持つ運転モデル（自己認識）が運

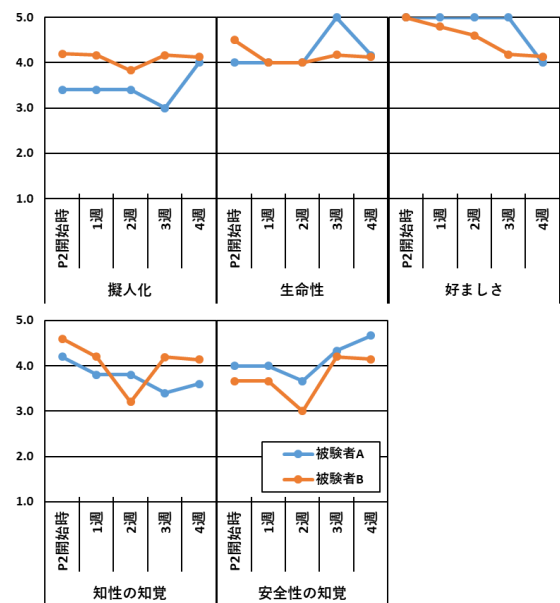


図 6. Godspeed アンケート結果の推移

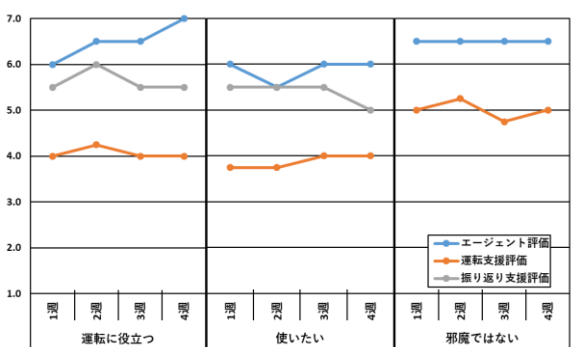


図 7. エージェント評価/運転支援機能評価/振り返り支援機能評価における共通項目の評価遷移

転行動を決定する[10]ことから、フェーズ 2 で起こった自己認識の変化に伴い運転行動も変化したため、改善効果が継続したと推測される。仮説 3 に挙げた「フェーズ 2 の状態維持」よりも高い改善効果の維持が見られた。

ドライバエージェントの印象評価の結果から、両被験者共にフェーズ 2 期間を通して高い評価が得られた。これは先行研究[15,16]と同程度の評価であり、実生活での継続使用でも同様の評価が得られたと言え、仮説 4a を支持する結果と考えられる。印象評価と継続期間の関係を見ると、図 5 で示した通り、継続期間が長くなるほど全項目の評価値が上昇していることが分かった。仮説 4b で述べた通り、エージェントの継続使用は、慣れや飽きの影響から、使用開始初期よりも評価が低下すると予想され、Godspeedの結果では小型ロボットに対する好ましさや知性の知覚の評価の低下が見られた。そこで、エージェント印象評価、運転支援機能評価、振り返り支援機能評価において、共通する評価項目（運転の役に立つ/使いたい/邪魔でない）の 2 名の平均値の評価推移を分析した（図 7）。3 項目共に、機能の個別評価よりも、エージェント全体の印象評価は高い数値となった。即ち、実際の機能よりも良い印象を与えたバイアスが存在する可能性が考えられる。システムに「一体感」や「温かみ」を与える擬人化 RHMI の効果、または、被験者がエージェントとの安全運転への努力というインタラクションを通じ、「協力して運転した」と強く感じるように変化した関係性・継続性が、飽きや慣れの影響を低減したと考えられる。

6. おわりに

本研究では、ドライバをより安全な運転行動へ変容を促すドライバエージェントの実現に向け、実生活におけるエージェントの継続使用を行い、運転改善効果と自己認識および印象評価の変化を分析した。分析の結果、エージェントの支援により、運転行動の改善と自己認識の変化が見られ、エージェント支援後も改善効果が継続すること、継続使用によりエージェントの印象評価が向上することが確認された。今後は、収集データの更なる分析と被験者数を増加させた実証実験が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省/JST 研究成果展開事業「センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム」の支援によるものである。また、佐藤太亮氏と小林悠氏にシステム開発へご協力頂いた。ここに記して感謝する。

参考文献

[1] イタルダ・インフォメーション: 高齢者の四輪運転中

- の事故, 交通事故総合分析センター, No.68 (2007)
- [2] 桑田佳奈: 高齢ドライバの頻出事故分析手法の検討, 自動車技術, Vol.69, No.1, pp.90-95 (2015)
- [3] MS&AD 基礎研究所株式会社: 高齢者運転事故と防止対策 (2017)
- [4] 内閣府: 平成 27 年度 第 8 回高齢者の生活と意識に関する国際比較調査 (2015)
- [5] 金丸隆, 桑本英樹: HMI 技術の変遷と車載機器向けの取り組み, 自動車技術, Vol.69, No.3, pp.39-42 (2015)
- [6] 芳賀繁: リスク・マネジメントと事故防止, 交通安全教育, No.551, pp 6-16 (2012)
- [7] T. Tanaka et.al: Study on Driver Agent based on Analysis of Driving Instruction Data -Driver Agent for Encouraging Safe Driving Behavior (1)-, IEICE Transactions on Information and Systems Vol.E101-D, No.5, pp.1401-1409 (2018)
- [8] 田中貴紘ほか: 高齢者を含むドライバの一時停止交差点通過時の運転行動と生体機能の分析- 運転寿命延伸を目指したドライバ運転特性研究 -, 自動車技術会論文集, Vol.48, No.1, pp.147-154 (2017)
- [9] D.Parker and S.Stradling: Influencing Driver Attitudes and Behaviour, DETR Road Safety Research Report No.17, London: DETR (2001)
- [10] Ian Edwards: ドライバーのための自分づくり教育- コーチングのすすめ, SMA サポート株式会社 (2014)
- [11] イタルダ インフォメーション 交通事故分析レポート: 特集 高齢者のための安全運転法, 交通事故総合分析センター, No.77 (2008)
- [12] D. G. Premack, G. Woodruff: Does the chimpanzee have a theory of mind?, Behavioral and Brain Sciences, 1 (4), pp.515-526 (1978)
- [13] 田中貴紘ほか: 高齢ドライバの運転行動変容を促すドライバエージェントの開発, HAI シンポジウム 2016, G-4 (2016)
- [14] J. K. Hietanen, A. Myllyneva, T. M. Helminen and P. Lyyra: The effects of genuine eye contact on visuospatial and selective attention. Journal of Experimental Psychology: General, Vol.145, No.9, pp.1102-1106 (2016)
- [15] Takahiro Tanaka et.al: Driving Behavior Improvement through Driving Support and Review Support from Driver Agent, 6th International Conference on Human-Agent Interaction, pp.36-44 (2018)
- [16] Takahiro Tanaka et.al: Analysis of Distraction and Driving Behavior Improvement Using a Driving Support Agent for Elderly and Non Elderly Drivers on Public Roads, 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (2020)
- [17] 山田誠二, 角所考, 小松孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, 21 巻, 6 号, pp.648-653 (2006)