

自動運転車の走行意図に対する 歩行者の理解度を反映する視認行動の分析

劉 海龍^{1,a)} 平山 高嗣^{2,b)} モラレス ルイス 洋一^{2,c)} 村瀬 洋^{1,d)}

概要：自動運転車の機能と性能は、安全性を重視して継続的に向上している。しかし、自動運転車は普及段階に向けて、社会的な受容性や信頼感不足などの問題に直面している。この問題に対する原因の一つとして、歩行者と自動運転車がインタラクションする際、歩行者は自動運転車の走行意図を理解できないことが考えられる。本研究では、インタラクション中に、歩行者による自動運転車の走行意図の理解を反映する説明変数を調査するために、歩行者の視認行動に注目した。手動および自動運転が可能な電動車椅子を用いて、歩行者とインタラクションする実験を行った。そして、歩行者の視線情報を計測し、手動および自動運転車の走行意図に対する理解度を調べた。結果として、自動運転車より手動運転車の走行意図に対する歩行者の理解度が高かったことを確認した。また、手動運転車より自動運転車に対する歩行者の注視時間が長かった。さらに、自動運転車に対する注視時間と走行意図の理解度との間に相関が示された。

1. はじめに

近年、安全運転を重視して、自動運転車の実現に向けた認知・判断・操作の機能と性能は継続的に向上している。しかし、その普及段階に向けて、社会的な受容性や信頼感不足などの問題に直面している [1]。この問題に対する原因の一つとして、歩行者と自動運転車がインタラクションする際、歩行者は自動運転車の走行意図を理解できないことが考えられる。すなわち、歩行者は自動運転車の走行意図を理解していないと、「自動運転車が何をしたいのか？」や「私は何をすればいいのか？」などの混乱を起こしうる。歩行者による自動運転車に対する理解・信頼・安心を醸成させるため、Habibovic ら及び Rasouli らは、インタラクション中に、車両が歩行者に走行意図を伝達することが重要であると提言している [2], [3]。ゆえに、自動運転車が歩行者へ走行意図を正しく、かつ明確に伝達するコミュニケーション方法が不可欠であると考えられる。しかし、どのように歩行者へ走行意図を正しく、かつ明確に伝達できるのかについて、確固たる知見が存在しない。

自動運転車の走行意図に対する歩行者の理解度を評価するために、多くの研究ではアンケート調査やインタビュー

などの主観評価方法を用いた。例えば、Stefanie らは自動運転車の走行意図を歩行者に提示するために、車の外部に LED ランプを設置して、様々な点灯パターンを設計した。そして、アンケート調査とインタビューを用いて、それぞれの点灯パターンに対する意味の理解しやすさを調査した [4]。また、Clercq らは、歩行者に外向け情報提示装置を搭載した自動運転車とインタラクションさせ、安全に道を横断できることを感じた際に、ボタンで自己申告させた。そして、インタラクションが始まる時点から、歩行者がボタン押すまでの時間を用いて、フラットブレーキランプ、アニメーション、スマイルフェイス、テキストなどの情報伝達方法を評価した [5]。

しかし、歩行者が自動運転車の走行意図を明確に理解しているかどうかを客観的に評価する方法が非常に少ない。本研究では、歩行者による自動運転車の走行意図に対する理解度を反映する客観的な説明変数を調査する。

2. 仮説

本研究では、Endsley が提案した人間の状況認識 (situation awareness) のプロセス [6] を参考した。状況認識は知覚、理解、予測を通じる認知過程である。例えば、人間は他者の行動意図を理解したい時、まず相手の行動を観察して、行動意図を反映する情報を集める。そして、十分な情報が集まったら、それらの情報を用いて、相手の行動意図を理解する。理解したら、相手のこれからの行動を予測する。以上の過程において、もし、人間は行動意図の理解に

¹ 名古屋大学 情報学研究科

² 名古屋大学 未来社会創造機構

a) liuh@murase.m.is.nagoya-u.ac.jp

b) takatsugu.hirayama@nagoya-u.jp

c) yoichims@ieee.org

d) murase@nagoya-u.jp

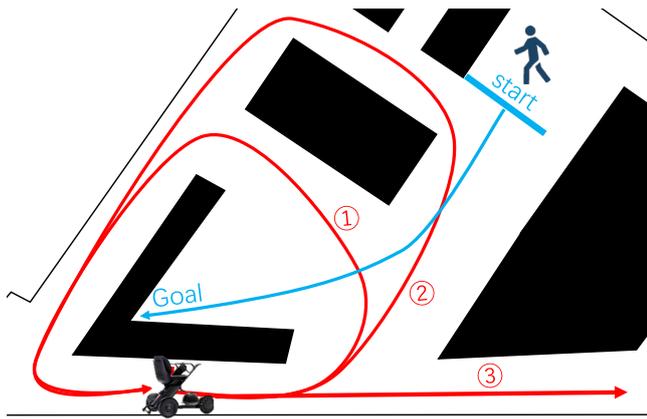


図 1 車両の走行ルートと歩行者の移動ルート

寄与する十分な情報を獲得していない場合、相手の行動をさらに観察し続けると考えられる。ゆえに、観察時間を用いて、相手の行動意図の理解度を表現することが可能であると考えられる。以上より、本稿では歩行者と自動運転車のインタラクションに対して、以下の仮説を提案する：「歩行者は自動運転車の走行意図を理解していない場合、自動運転車に対する注視時間が長くなる」。ここでの注視時間とは、歩行者の中心視野に車両領域が含まれる時間の総和である。

3. 被験者実験

3.1 実験内容

本研究では、歩行者の視点で、自動運転車の走行意図に対する理解度と注視時間の関係を分析する。本実験は実験参加者の安全を考慮し、自動運転機能を搭載する自動車を使用せず、手動および自動運転機能を搭載する電動車椅子を実験車として使用した。図 1 に示すように、電動車椅子に対して、三つの走行経路を設計した。実験参加者がスタート地点からゴール地点まで歩行する過程で、電動車椅子と二種類のインタラクションが発生しうる。電動車椅子の経路①によるインタラクションは、十字路でのインタラクション場面を模擬する。電動車椅子の経路②によるインタラクションは、直進路上で歩行者と車両が対面して接近するインタラクション場面を模擬する。電動車椅子が経路③で走行する場合、実験参加者とのインタラクションが発生しない。実験参加者の視線を測定するために、視線追跡装置 Tobii Pro Glasses 2 を実験参加者の頭部に装着した。毎回の試行後に、参加者は走行意図の理解度を 5 段階で主観的に評価することを求められた。本実験は名古屋大学未来社会創造機構の倫理委員会の承認を受けた。

本実験は 4 つのフェーズで構成された。それらは事前説明、手動運転車とのインタラクション、自動運転車とのインタラクション、インタビューであった。本実験では、20 代の 10 名が実験に参加した。まず、実験参加者に以下の内容を説明した。

- (1) 本実験の目的は、参加者が手動運転および自動運転車とインタラクションする際の行動を観察することである。
- (2) 図 1 に示すように、スタート地点からゴール地点まで、日常生活で散歩するような速度で歩く。
- (3) 歩く過程で、手動あるいは自動で運転する電動車椅子とインタラクションする可能性がある。
- (4) 手動運転の場合、実験実施者が電動車椅子に乗って車を制御する。一方、自動運転の場合、誰も載っていない状態で走行する。
- (5) 電動車椅子の走行経路は三つある (図 1)。試行毎に走行経路がランダムで選択される。
- (6) 電動車椅子の最高速度は $1[m/s]$ である。
- (7) 自動運転の場合、電動車椅子はセンサを用いて、周囲の物体や歩行者などを認識でき、運転行動を自動的に決定できる。
- (8) 世の中に 100%安全なシステムが存在しないため、本実験は衝突などのリスクがある程度ある。
- (9) もし、電動車椅子の行動があなたにとって非常に危険と感じる場合は、自主的に回避する必要がある。
- (10) 各試行後に、電動車椅子の走行意図に対して、「1. 全く理解できなかった」、「2. あまり理解できなかった」、「3. どちらともいえない」、「4. 大体理解できた」と「よく理解できた」の 5 段階で評価する。

実験内容を説明した後、参加者は手動運転車とのインタラクションを 20 試行求められた。インタラクション中に、実験実施者は実験参加者との距離や実験参加者の加減速度などを考慮しながら電動車椅子を制御した。

次に、参加者は自動運転車とのインタラクションを 20 試行求められた。自動運転の場合、電動車椅子は環境情報を LiDAR を用いて計測して自己位置を推定しながら、事前に設定した走行ルートに沿って自動運転を行える。また、電動車椅子の真正面から約 $0.5 [m]$ 範囲内の障害物に対する緊急停車機能もある。ただし、この自動運転の電動車椅子には、人間のように歩行者の行動を観察しながら、自分の運転行動を決める機能がない。つまり、歩行者とインタラクションする際に、自動運転車が歩行者に横断優先権を譲るかどうかの判断機能がなく、歩行者の前で停止して、横断を促す機能もない。本実験では、自動運転の電動車椅子が自然な歩行者とのインタラクションを実現するために、実験実施者が外からインタラクションの状況を見ながら、リモコンを用いて停車や発車などの行動を支援した。

最後に、実験参加者にインタビューを行った。実験中の感想や、インタラクション時の行動方策などを調査した。

3.2 データの前処理

視線追跡装置を用いて、各実験参加者が見ている前景映像と注視点を計測した。計測した前景映像はサイズ

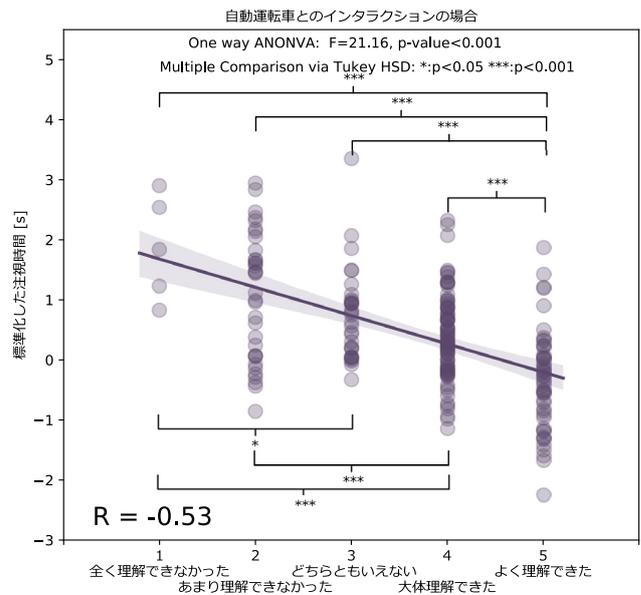
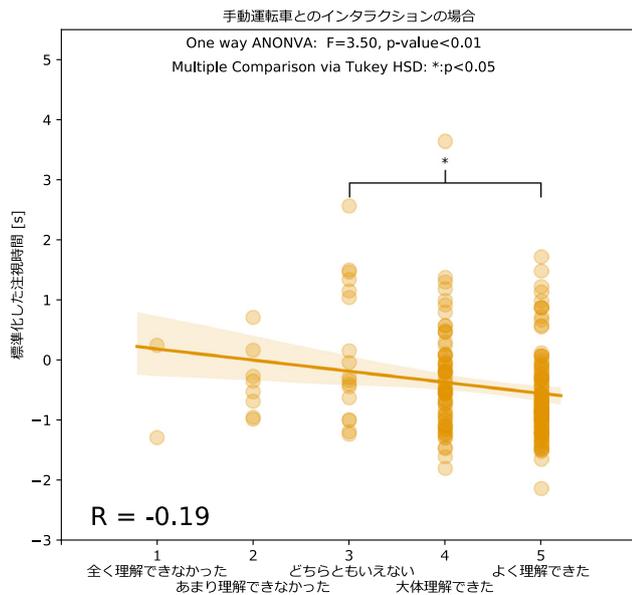


図 2 手動および自動運転車に対する実験参加者の注視時間と走行意図の理解度の関係

1920 × 1080 ピクセルの動画である。また、実験参加者の注視点は前景映像の平面上の 2 次元座標値になる。本実験では、注視点を円心として、直径 108 ピクセルの範囲を実験参加者の中心視野として定義する。車両領域の任意部分と円の任意部分が重なっている場合に、実験参加者が車両を注視していると判断した。以上の条件により、各試行において、実験参加者の中心視野に車両領域が含まれる時間の総和を注視時間として計算した。

そして、各実験参加者の視認行動に個人差があると考えられ、それぞれの歩行者の手動および自動運転車に対する注視時間を平均が 0、分散が 1 に標準化 (standardization) した。

3.3 実験結果

標準化した注視時間と手動および自動運転車の走行意図に対する実験参加者の理解度の相関関係を分析した。結果を図 2 に示す。まず、手動運転の場合 (図 2 の左部)、実験参加者の注視時間と走行意図の理解度間の相関係数は -0.19 であり、弱く相関があることが分かった。分散分析 (ANOVA) の結果により、それぞれの理解度における注視時間に有意差があった。また、多重比較を用いて、「3. どちらともいえない」と「5. よく理解できた」の間にだけ、有意差があったことが分かった。

一方、自動運転の場合 (図 2 の右部)、実験参加者の注視時間と走行意図の理解度間に相関があり、相関係数は -0.53 であった。ANOVA による統計的検定の結果はそれぞれの理解度における注視時間に有意差があり、 p 値が 0.001 以下になった。そして、多重比較を行ったところ、「1. 全く理解できなかった」と「2. あまり理解できなかった」の間と「2. あまり理解できなかった」と「3. どちらともいえない」の間

」の間に有意差がないが、他のペアに対して、有意差があったことを確認した。ここで、実験参加者の注視時間は自動運転車の走行意図に対する歩行者の理解度を反映する説明変数であることが考えられる。

以上の結果により、実験参加者と自動運転車がインタラクションする際に、自動運転車の走行意図が理解しづらいほど、実験参加者の注視時間が増加する傾向があった。本実験では、自動運転の場合より、手動運転の場合に相関が弱い理由を検証することが困難であるが、「手動の場合、ドライバーが私に注意して運転するため、車両を注視しなくても良い」とインタビューで答えた実験参加者がいた。つまり、信頼がインタラクションに影響したと考えられる。ゆえに、自動運転車が歩行者からの信頼を獲得するために、走行意図を歩行者に理解させることが重要であると考えられる。

4. おわりに

本稿では、自動運転車の走行意図に対する歩行者の理解度を反映する客観的な説明変数を調査した。認知心理学の状況認識理論に基づいて、歩行者が自動運転車とインタラクションする際に、自動運転車の走行意図を明確に理解しない場合、歩行者の注視時間は増加するという仮説を提案した。この仮説を検証するため、被験者実験を行った。そして、実験参加者の視線情報と自動運転車の走行意図の理解度を計測した。実験結果として、実験参加者の自動運転車に対する注視時間と自動運転車の走行意図の理解度の間に、相関があることを確認した。ここで、インタラクション中に、歩行者が自動運転車を注視する行動は、歩行者が自動運転車に走行意図に関する情報を求めている行動であると考えられる。この実験結果により、外向けヒューマ

ン・マシン・インターフェース (external human-machine interface: eHMI) の設計者に二つの提案がある。1) 自動運転車と歩行者がインタラクションする際に、歩行者が自動運転車を注視する時に、自動運転車の走行意図を提供すること。2) 走行意図を提供した後、歩行者がさらに自動運転車を注視する場合、走行意図に関するより明確な情報を提示すること。

今後の課題として、歩行者の注視時間による eHMI の評価手法を構築する。また、歩行者の注視時間から自動運転車の走行意図の理解度を予測する数理モデルを構築する。

5. 謝辞

本研究は JST 未来社会想像事業 JPMJMI17C6 および JSPS 科研費 JP19K12080 の助成を受けて行われた。また、名古屋大学情報学研究科研究員新村文郷氏と修士学生前川大和氏に実験安全員として、ご協力頂いたことを感謝する。

参考文献

- [1] P. A. Hancock, I. Nourbakhsh, and J. Stewart, “On the future of transportation in an era of automated and autonomous vehicles,” *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 16, pp. 7684–7691, 2019.
- [2] A. Habibovic, V. M. Lundgren, J. Andersson, M. Klingegård, T. Lagström, A. Sirkka, J. Fagerlönn, C. Edgren, R. Fredriksson, S. Krupenia, D. Saluäär, and P. Larsson, “Communicating intent of automated vehicles to pedestrians,” *Frontiers in Psychology*, vol. 9, p. 1336, 2018.
- [3] A. Rasouli and J. K. Tsotsos, “Autonomous vehicles that interact with pedestrians: A survey of theory and practice,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–19, 2019.
- [4] S. M. Faas and M. Baumann, “Yielding light signal evaluation for self-driving vehicle and pedestrian interaction,” in *Human Systems Engineering and Design II*, T. Ahram, W. Karwowski, S. Pickl, and R. Taiar, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 189–194.
- [5] K. de Clercq, A. Dietrich, J. P. N. Velasco, J. de Winter, and R. Happee, “External human-machine interfaces on automated vehicles: Effects on pedestrian crossing decisions,” *Human Factors*, vol. 61, no. 8, pp. 1353–1370, 2019, pMID: 30912985.
- [6] M. R. Endsley, “Toward a theory of situation awareness in dynamic systems,” in *Situational Awareness*. Routledge, 2017, pp. 9–42.