

前方への車線変更侵入に直面したドライバーの 運転行動と心理的反応

北原拓海^{*1} 佐伯英日路^{*1} 志堂寺和則^{*2}

九州大学大学院 統合新領域学府^{*1}

九州大学大学院 システム情報科学研究院^{*2}

ドライバーの暗黙的な協調は円滑な車線変更に不可欠であり、自動運転車との共存には協調的なインタラクション設計が求められる。本研究は、灯火のみでは意図伝達が破綻する状況を明らかにし、新たなeHMI設計の指針を得ることを目的とした。ドライビングシミュレータ実験では、車線変更を検討する際に車間距離や速度が与える影響と、車線変更を要求された際に要求車両の挙動がその受容性に与える影響を調査した。前者ではリスク管理や他車への配慮が判断に影響すること、後者では圧迫感や不自然な挙動に対する受容性が低いことが示された。このことから、自動運転車の協調的な車線変更には、十分な車間距離と今後の挙動を明示的に伝えるeHMIが必要であることが示唆された。

Behavioral and Psychological Responses of Drivers to Lane-Change Intrusions Ahead

Takumi KITAHARA^{*1} Hidehiro SAEKI^{*1} Kazunori SHIDOJI^{*2}

Graduate School of Integrated Frontier Science, Kyushu University^{*1}

Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University^{*2}

Implicit coordination among drivers is essential for smooth lane changes, and cooperative interaction design is required for the coexistence of autonomous vehicles (AVs) and human drivers. This study identified situations in which turn-indicator-only intent communication fails and derived guidelines for new eHMIs. Driving simulator experiments examined the effects of inter-vehicle distance and speed on lane-change decisions, and the effects of the behavior of the vehicle requesting a lane change on acceptance. Results showed that risk management and consideration for other vehicles shaped in the former, while pressuring or unnatural behavior reduced acceptance in the latter. Cooperative lane changes by AVs require sufficient inter-vehicle distance and eHMIs that explicitly convey future behavior.

Keyword: *Automated Vehicle, eHMI, Driver Behavior*

1 序論

現在、自動運転車と手動運転車が同じ交通環境を利用し始めており、それに伴って新たな課題も発見されている。我々は、その新たな課題の1つである、人間のドライバーが車線変更時に行う暗黙の協調に着目している。

車線変更時のドライバーに着目した、Felbeらの研究[1]では、人間のみの交通環境において、方向指示器などの明示的合図に加え、車速の微調整や車線内の位置取りなどの文脈的合図をドライバー同士が相互に読み解く、複雑なコミュニケーションが行われていると報告している。こうしたコミュニケーションは、高速道路での車線変更のように、短時間での判断と協調が求められる場面で特に重要とされており、Khelfaら[2]は、他車の意図を正確に予測することが、事故リスク低減に直結すると述べている。

一方、現在の自動運転システムは、交通法規遵守や移動の効率を優先するあまり、人間同士の暗黙の協調を欠いた機械的挙動を示し、周囲のドライバーに混乱やストレスといった悪影響を与える可能性がある。Schwartingら[3]の研究では、自動運転車が社会的文脈を考慮しない行動をとることで、他車との相互理解が損なわれ、交通全体の協調が崩れる可能性を指摘している。この自動運転車が従来の交通環境に参加する際に発生する問題に対して、external human-machine Interface (eHMI) と呼ばれるデバイスを用いた自動運転車と交通参加者のコミュニケーションの研究がある[4]が、自動運転車の車線変更を対象とした研究は取り組まれていない。

そこで、本研究では、車線変更場面を対象としてドライバーの心理状態を分析し、車線変更に適したeHMI設計の指針を得ることを目的として、2つの実験を行った。なお、本研究は、九州大学大学院システム情報科学研究院実験倫理審査委員会による倫理審査を受け、承認された（シス情認 2025-12）。

2 実験装置

本研究では、Fig. 1 のようなドライビングシミュレータ (Driving Simulator、以下、DS) を作成して実験を実施した。DS では、31.5インチモニタ (LG 製 32GP750-B) 3台に前方および右前方・左前方の映像を、7.9インチモニタ (SHARP 製 LQ079L1SX02) にスピードメータの映像を、それぞれ表示した。ステアリング・ペダルには Fanatec 製 Podium Wheel Base DD2 と Fanatec 製 CSL PEDAL を用いた。エンジン音の呈示には、スピーカ (サンワサプライ製 MM-SPL2NU2) を用いた。また、参加者が各ペダル

に足をかけているか判別するためのペダル踏み替え検出装置を設置した。ソフトウェアは Unity を用いて自作した。



Fig. 1 Driving Simulator

3 実験 1: 車間距離と速度が車線変更の意思決定に与える影響

3-1 目的

本実験は、隣車線後方を走行する車両との車間距離の変化が、ドライバーの車線変更の実行意思に与える影響を明らかにすることを目的とする。

3-2 実験シーン

実験シーンは、片側2車線の一般道路を想定し、各車線の幅員を3.50mに設定した。また、上記の道路には、参加者の運転する車両（以下、搭乗車）を第1走行車線に、隣車線後方を走行する車両（以下、後続車）を第2走行車線にそれぞれ配置した。

3-3 実験参加者および実験条件

参加者は、普通自動車第一種運転免許を取得した18歳から24歳 (Mean = 22.12) の17名であった。

実験条件として、速度域を30km/hと60km/hの2種類と、搭乗車と後続車の車間距離（走行車線は異なるが、2車の間の進行方向の距離）を7種類用意した。車間距離は、搭乗車の位置を固定し、後続車の初期位置を変化させて調整した。Table. 1には、7種類の車間距離と各速度域における、Time to Head Way (以下、THW) を示す。試行回数は、各条件につき3回、計42試行をランダムな順序で実施した。

Table. 1 Following distance and THW

車間距離[m]	THW(30km/h)[s]	THW(60km/h)[s]
18	2.16	1.08
16	1.92	0.96
14	1.68	0.84
12	1.44	0.72
10	1.20	0.60
8	0.96	0.48
6	0.72	0.36

3-4 手続き

初めに、実験の説明を参加者に行い、実験参加の同意を得た。次に教示を行なった。内容としては、実験開始直後すみやかに搭乗車を指定した速度域に達するようにアクセルを操作すること、**Fig. 1** 内の右画面に示すようにミラーに写っている後続車を観察するよう指示した。なお、車間距離と走行速度を一定に保つため、参加者の操作を搭乗車に反映しない設定にしてあるが、参加者が運転している感覚を持つようにするためにその旨は伝えなかった。教示の後に実験を開始した。実験は、両車が所定の車線に停止した状態から開始し、このとき後続車は搭乗車の位置を基準として、実験条件に応じた距離だけ後方に停止している。実験開始から約 15 秒経過後、シミュレータの画面が暗転し、1 回の試行は終了する。暗転後、Visual Analog Scale (以下、VAS) を用いた下記の質問に回答してもらった。

- 質問1. 後ろから近づいてきた車を見て、今車線変更したいですか？
- 質問2. 後ろから近づいてきた車を見て、今車線変更できますか？
- 質問3. 後ろから近づいてきた車を見て、今安全な車線変更ができますか？
- 質問4. 今ウィンカーを出すのは、後ろから近づいてきた車の迷惑になると思いますか？
- 質問5. この後車線変更する場合、後ろから近づいてきた車の前後どちらを選びますか？

3-5 結果と考察

VAS によるアンケートの回答は 0 を否定、100 を肯定として数値化した。数値化した結果に対して、R[5]上で動作させた anovakun(ver 4.8.9)[6]を用いて 2 要因分散分析と一標本の両側 t 検定を行った。両側 t 検定では、各条件における VAS 回答値が 50 を上回るか下回るかを検定した。

3-5-1 車線変更したいと感じたか

Fig. 2 は、各速度域における質問 1 の 2 要因分散分析の結果を示すものである。速度と車間距離の両方に有意な差が認められたが($p < 0.1$)、交互作用は認められなかった。また、両側 t 検定の結果、有意差が認められなかったのは、30km 条件において 8m、60km/h 条件において 12m であった。

この結果から、ドライバーは車間距離が短くなるにつれて、車線変更したくないと考えることが明ら

かになった。特に 60km/h 条件では THW が小さくなることから、心理的圧迫感やリスク知覚が増大し、車線変更への意欲が低下したと考えられる。

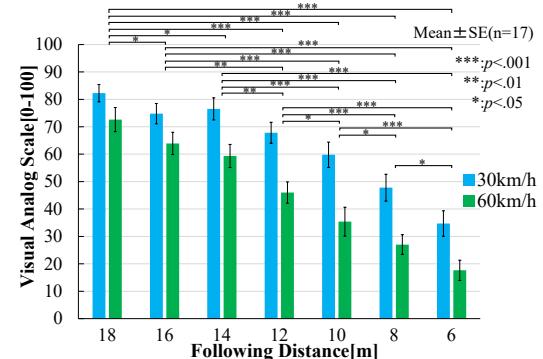


Fig. 2 Whether participants would want to change lanes now after seeing the following vehicle

3-5-2 車線変更が後続車の迷惑になると感じたか

Fig. 3 は、各速度域における質問 4 の 2 要因分散分析の結果を示すものである。速度と車間距離の両方に有意な差が認められたが($p < 0.1$)、交互作用は認められなかった。また、両側 t 検定の結果、有意差が認められなかったのは、30km 条件において 10m、60km/h 条件において 16m~12m であった。

結果からは、THW の減少に伴って、車線変更の実行は迷惑になるという回答傾向がみられた。このことから、車線変更の実行判断には、自身の運転意図の実現だけではなく、周辺車への配慮といった社会的な側面も含まれることが示唆される。

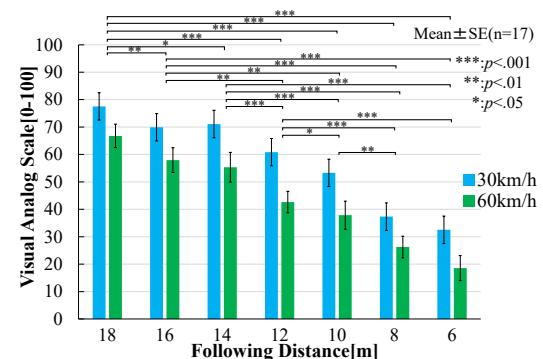


Fig. 3 Whether participants think using the turn signal now would bother the following vehicle

3-5-3 実験 1: 総合考察

すべての質問に共通して、いずれの速度域においても車間距離が短いほど回答は否定的になり、特に

60km/h 条件で、その傾向は顕著にみられた。車間距離は、速度域によらず統一しているため、この差は THW の違いに起因すると考えられる。また、Fig. 2 の 30km/h 条件における、16m と 14m のように、隣接した車間距離と回答値が逆転する場合があった。この原因として、条件として設定した車間距離の刻み幅が 2m と比較的細かかったことに加え、全条件をランダムに実施したため、参加者がその差異を識別できなかった可能性が考えられる。

質問 1~質問 3 は類似した問い合わせたが、最も否定的な回答は質問 3 で、次いで質問 1、質問 2 の順に肯定的な傾向が強まった。車線変更「できるか」という能力判断では前向きな回答をする一方、「したいか」や「安全にできるか」と問われると、慎重になるという心理的なギャップの存在が示唆された。

車線変更先として、後続車の前後どちらを選ぶかという問い合わせに対しても、THW が小さいほど、後続車の後方を選ぶ回答が増加した。後続車の後方に車両は存在しなかったため、追突リスクを避け、安全な後方への車線変更を選択したと考えられる。

総括すると、ドライバーが主観的な安全感と社会的配慮の双方を考慮していることが示された。特に THW が小さい条件では、わずかな車間距離の変化が安全判断に大きく影響し、車線変更への意欲を抑制する傾向がみられた。よって、自動運転車が車線変更を行う基準として、物理的な車線変更の可否だけでなく、心理的な余裕も判断の基準として重要であるといえる。また、ドライバーの判断は単なる運転技能や距離の問題にとどまらず、他車への配慮やリスク回避といった社会的・道徳的側面が、意思決定に組み込まれていることが明らかとなった。

4 実験 2: 車線変更リクエストおよびそれに際した運転行動の与える心理的印象

4-1 目的

本実験は、隣車線を走行する車両の方向指示器を用いた車線変更リクエストと、それに伴う運転挙動が、ドライバーに与える影響を明らかにすることを目的とする。

4-2 実験シーン

実験シーンには、実験 1 同様の道路を使用した。また、上記の道路には、搭乗車を第 1 走行車線に、隣車線を走行する車両（以下、リクエスト車）を第 2 走行車線にそれぞれ配置した。リクエスト車は、搭乗車の位置を基準として、30m 後方に配置した。

4-3 実験参加者および実験条件

参加者は、普通自動車第一種運転免許を取得した 18 歳から 24 歳（Mean = 22.00）の 18 名であった。

実験条件として、速度域を 30km/h と 60km/h の 2 種類と、リクエスト車の運転挙動を 4 種類用意した（Fig. 4）。下記に運転挙動の詳細を述べる。

1. Light Off 条件：方向指示器の点滅開始から約 3 秒後に消灯する条件であり、車線変更を試みたものの、安全な距離が確保できずに断念する人間の行動を再現した。
2. Pull Over 条件：方向指示器の点滅開始から約 3 秒後に、第 1 走行車線へ幅寄せをする条件である。方向指示器点灯だけでなく、幅寄せしてアピールする人間の行動を想定して設定した。
3. Stay Lit 条件：方向指示器を点滅させたまま並走する条件である。自動運転車が、安全な距離を確保するまで待機する動作を模して設計した。
4. Lane Change 条件：方向指示器の点滅開始から約 3 秒後に車線変更をする条件であり、道路交通法施行令第 21 条に基づき、模範的な車線変更を行う自動運転車の挙動を意図したものとした。

両車は、開始から約 30 秒間最大速度で走行する。その後、リクエスト車は約 12 秒間加速して、搭乗車の右斜め前方に現れる。そこから、約 5.5 秒かけて元の最大速度まで減速する。この過程で、車間距離（THW）は一定の値となる。車間距離の設定には、実験 1 の両側 t 検定の結果を用いた。各質問の平均値が 50 との偏差が小さい条件ほど、参加者が運転挙動の違いを識別できると判断し、30km/h 条件では 10m（THW : 1.20s）、60km/h 条件では 14m（THW : 0.84s）を採用した。リクエスト車は、元の最大速度に戻り次第、方向指示器を点滅開始させ、先述した各種車両挙動に分岐した。試行回数は、各条件につき 3 回、計 24 試行をランダムな順序で実施した。

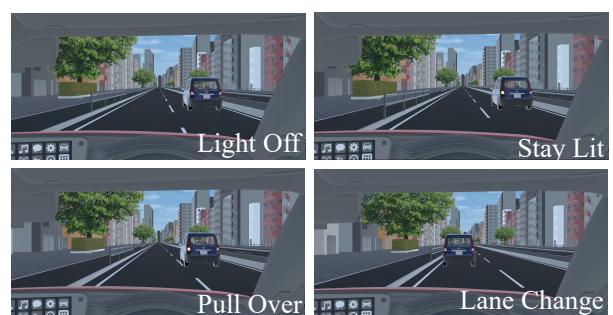


Fig. 4 4 types of the Request Vehicle behavior

4-4 手続き

初めに、実験の説明を参加者に行い、実験参加の同意を得た。次に教示を行なった。内容としては、実験開始直後すみやかに搭乗車を指定した速度域に達するようにアクセルを操作するよう指示した。そして、教示の後に実験を開始した。実験は、両車が所定の車線に停止した状態から開始した。リクエスト車の車線変更挙動が終了し、搭乗車が特定の座標に達すると、シミュレータは停止した。停止後、VASを用いた下記の質問に回答してもらった。ただし、質問4に関しては、Lane Change のときにのみ回答してもらう形とした。

- 質問1. 後ろから近づいてきた車の運転挙動を見て、不快に感じましたか？
- 質問2. 後ろから近づいてきた車の運転挙動を強引に感じましたか？
- 質問3. 後ろから近づいてきた車の運転挙動を見て、不安を感じましたか？
- 質問4. 後ろから近づいてきた車の車線変更タイミングは、あなたの予測と比べてどうでしたか？

4-5 結果と考察

VASによるアンケート評価の数値化の手続きと統計解析方法は実験1と同様であった。

4-5-1 リクエスト車の挙動を不快に感じたか

Fig. 5には、各速度域における質問1の2要因分散分析の結果を示す。速度域の主効果および交互作用は認められなかった。車両挙動には有意差が認められた ($p < .001$)。また、両側t検定において、30km/h条件では、Lane Changeが平均値が50を有意に上回った。一方で、他の3つの挙動に有意差は認められなかった。60km/h条件では、Lane Changeが平均値が50を有意に上回った。30km/h条件と同様に、その他3つの挙動に有意差は認められなかった。

速度域に関わらず、Lane Changeが肯定的な評価を得た一方、Pull Overでは最も否定的な評価が示された。これは、横方向のパーソナルスペースの侵害が不快感を引き起こす要因であることを示している。また、Stay LitやLight Offは、同程度の評価となつた。Lane Changeほど肯定的な結果が得られなかつた原因として、車線変更先には先行車が存在していないにも関わらず並走を続けるという、状況と挙動のミスマッチが、運転意図の理解の妨げになったこと

と考えられる。

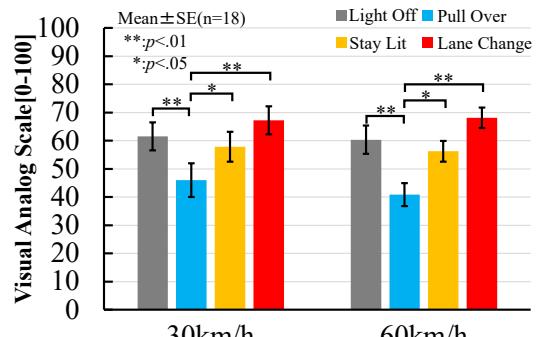


Fig. 5 Driver's Discomfort Induced by Rear-Approaching Vehicle Behavior

4-5-2 リクエスト車の挙動を強引に感じたか

Fig. 6には、各速度域における質問2の2要因分散分析の結果を示す。速度域の主効果および交互作用は認められなかった。車両挙動では有意差が認められた ($p < .05$)。また、両側t検定において、30km/h条件では、すべての条件において平均値が50を有意に上回った。60km/h条件では、Light Off、Stay LitおよびLane Changeが平均値が50を有意に上回った。一方、Pull Overに有意差は認められなかった。

Pull Overの回答結果が他の挙動よりも低かったことから、最も強引な印象を与えたと考えられる。しかし、Pull Overと他の3つの挙動の間には有意差が認められなかったことから、他の挙動と比べても、極めて強引であると評価されるまでには至らなかつたといえる。このことは、強引さが「相手の運転行動を妨げるほどに自分本位な挙動」として捉えられ、幅寄せは、その範疇には含まれないと判断された可能性を示唆している。

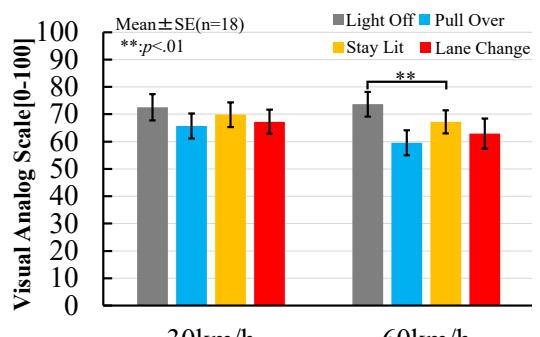


Fig. 6 Driver's Discomfort Induced by Rear-Approaching Vehicle Behavior

4-5-3 実験 2：総合考察

後続車の挙動に不安感を感じたかという質問 3 に対しては、質問 1 同様の結果が得られ、パーソナルスペースの侵害や意図不明瞭な挙動が、ドライバーの不快感や不安というストレスになることが示された。また、質問 4 の両側 t 検定において、速度域によらず有意差は認められなかつたため、参加者の予測と車線変更のタイミングが、おおよそ一致していたといえる。これは、車線変更のタイミングは、道路交通法に則った模範的な挙動であれば、ドライバーにとって予測可能であることを示している。

すべての結果を総括すると、ドライバーの心理的評価は、車両挙動の予測可能性や運転意図の明瞭さ、パーソナルスペースの尊重に強く依存していることが明らかとなった。特に、Lane Change 条件のように運転意図が明瞭で一貫性のある挙動は、ドライバーに肯定的に評価される傾向が強く、逆に Pull Over のように空間的な侵害を伴う挙動は不快感や不安感を増幅させる。また、Stay Lit や Light Off のように、状況と挙動が一致しない場合、ドライバーの予測を妨げ、否定的な評価につながることが示された。

5 総合考察

両実験の結果から、ドライバーは安全性や社会的配慮、他車の意図の理解を通じて、円滑な交通を維持するための暗黙の協調を行っていることが明らかになった。この協調は、明示的な合図だけでなく、文脈理解や周辺車への配慮によって支えられている。したがって、自動運転車が交通環境に参加する際には、この暗黙の協調に適応し、人間に自然に受け入れられるインタラクションを実現する必要がある。

以上を踏まえると、自動運転車が車線変更をリクエストする際には、圧迫感を与えない十分な距離を確保し、意図と動作を一貫して示す eHMI 表現が重要であることがいえる。また、「車線変更したい」といった内容だけでなく、「次の交差点で左折するため」など行動の目的を併せて提示することで、相手の文脈理解と予測可能性を高め、意図不明な挙動への否定的評価を緩和し、円滑な車線変更の実現に寄与すると考えられる。

6 まとめ

本研究の結果から、以下の 4 つの知見が得られた。

- 物理的に車線変更可能と判断することと、その意欲には心理的なギャップが存在する（実験 1）。
- 車線変更の判断には、物理的な安全性だけでなく、他車への配慮などの社会的側面も反映される（実験 1）。
- 横方向のパーソナルスペースの侵害は、車線変更を受け入れるドライバーに不快感や不安を与える要因となる（実験 2）。
- 状況と挙動が一致しない、意図不明瞭な運転挙動は、ドライバーの予測を妨げ、否定的に評価される（実験 2）。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24K06437 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] Konstantin Felbel, Maximilian Hentschel, Katharina Simon, André Dettmann, Lewis L. Chuang and Angelika C. Bullinger, “Predicting lane56 changes in real-world driving: analysing explicit, implicit and contextual cues on the motorway”, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, V. 114, Pp. 780-793, 2025, doi: 10.1016/j.ctr.2025.06.023.
- [2] Basma Khelfa, Ibrahima Ba and Antoine Tordeux “Predicting highway lane-changes maneuvers: A benchmark analysis of machine and ensemble learning algorithms”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, V. 612, 2023, doi: 10.1016/j.physa.2023.128471.
- [3] Wilko Schwarting, Alyssa Pierson, Javier Alonso-Mora, Sertac Karaman and Daniela Rus, “Social behavior for autonomous vehicles”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, V. 116, No. 50, Pp. 24972-24978, 2019, doi: 10.1073/pnas.1820676116.
- [4] Hidehiro Saeki and Kazunori Shidoji, “Comparison of External Human-Machine Interfaces for Presenting the Intension to Yield from an Automated Vehicle to a Driver”, *J. Robot. Mechatron*, V. 37, Pp. 1186-1194, 2025, doi: 10.20965/jrm.2025.p1186.
- [5] R Core Team, R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2025
- [6] 伊 関 龍 太 , anovakun (ver. 4.8.9), 2023, <https://riseki.cloudfree.jp/?ANOVA%E5%90%99B>,