

自律移動における搭乗者の不安生起特性を考慮した情報提示の効果

47-216690 原田 龍之介

指導教員 小竹 元基 准教授

It is important to consider reducing passenger anxiety when promoting autonomous transportation services of personal mobility vehicles (PMVs). This research aims to identify the characteristics of anxiety arousal in autonomous vehicle passengers, and to reduce that anxiety by presenting visual information. Passenger's anxiety while passing through a group of pedestrians were investigated by experimentation using a driving simulator. By analyzing the passengers' subjective evaluation and eye movements, it was suggested that when humans feel anxiety, they search for the cause of anxiety, and when they identify it, they try to obtain information by paying attention to the object which gives them clues for future situation. Results also suggested that anxiety can be reduced by the presentation of visual information with the effect of visual guidance that diverts passenger's attention from anxiogenic pedestrians and provides content that conveys PMV's intention of its behavior.

Key words: Autonomous Transportation, Personal Mobility Vehicles, Anxiety, Cognition, Visual Information

1 緒言

歩行空間を移動する自律移動パーソナルモビリティ (PMV)の研究開発が進む中で、搭乗者が自律移動システムに対する不安を感じてしまうことが知られており、これを低減させる方法が検討されている¹⁾。自動運転の分野では、搭乗者の不安は「理想と現実の乖離」から発生すると整理されており、搭乗者の行う予測が不安と関係していると考えられている²⁾。本研究では、不安の中でも、自身の行動を機械にゆだねる自律移動体の搭乗者に特有の、「車両の将来挙動が分からない」という不安に着目し、視覚的な情報提示により搭乗者が車両の将来挙動を予測しやすくなることが不安低減に繋がると考えた。

搭乗者の予測を補佐する情報提示はすでに検討されている。渡辺らの研究³⁾では、小型自律移動体の進行経路を地面に照射したり、手元の画面に表示したりすることで、搭乗者の車両挙動の理解しやすさが向上したと述べている。すなわち、車両の将来に関する情報を与えることで不安が低減することが示唆されている。しかしながら、不安を低減させる汎用性の高い情報提示を設計する上で必要となる要求機能は未だ明らかになっていない。普遍的に有効な情報提示を設計するためには、搭乗者の不安がどのように生起し、情報提示によって不安がどのように影響されるのかという不安生起特性を把握することが大切である。

以上より、PMVが歩行空間を自律移動する際に搭乗者の不安を低減させることを目指す上で、搭乗者の不安生起特性を把握し、その特性を考慮した不安を低減させる情報提示による要求機能を抽出することを本研究の目的として定めた。前記目的を達成するため、不安生起のメカニズムを設定し情報提示が与える影響に関して仮説を立てた。そして、ドライビングシミュレータを使った実験にて、搭乗者の不安を評価し、搭乗者の不安生起特性を把握した。最後にその特性に基づいて、情報提示が有する不安低減効果を整理し、情報提示を設計する際に満たすべき要求機能を抽出する。

2 仮説立案

2.1 関連研究

2章では不安生起のメカニズムを設定し本研究にて検証する仮説を立案する。まずは、不安生起メカニズムを設

定するために不安生起に関する既存の知見を整理する。

不安などの感情の生起には認知的評価と呼ばれる認知プロセスが重要な役割を担っているとされており⁴⁾、人間は環境からの刺激を取捨選択(注意)した後に認知を行っていることから⁵⁾、注意は不安に影響を与える。

また、不安などのネガティブ感情が刺激された際、人間の注意にバイアスがかかることも知られており⁶⁾、不安もまた注意に影響を与えることが分かっている。

そして、人間の脳は予測誤差を最小化するために断続的に予測を行っており⁷⁾、この予測という機能が不安の生起に影響を及ぼすことが数々の文献で述べられている^{2,4,7)}。

2.2 不安生起メカニズムの設定

関連研究の知見を基に、本研究における不安生起メカニズムを以下のように設定した。

「搭乗者は環境刺激を注意により取捨選択し、現在得た情報と予測した将来情報を参照し認知的評価を行う。その結果不安が生起することがあり、不安生起時には注意にバイアスがかかる可能性がある。」

今回の研究対象は自律移動型 PMV の搭乗者であることから、予測する将来情報には車両の将来挙動が含まれている。本研究ではこの予測した車両の将来挙動が実際の挙動と異なっていた時、すなわち、先行研究²⁾と同様に「理想と現実の乖離」が発生した際、不安が生起しやすいと考えた。

2.3 本研究の仮説

設定した不安生起メカニズムに対して情報提示が与える影響を考える。車両の将来挙動を提示する情報に注意が向き、認知された場合、将来に対する予測がしやすくなり、その結果「理想と現実の乖離」が小さくなることから、不安が低減すると考えられる。この前提を基に、以下の2つの仮説を立案する。

仮説1. 搭乗者の車両に対する不安低減を目指す情報提示を行う場合、車両の将来挙動を示すパラメータを提示することで、車両の将来挙動が予測しやすくなり、不安が低減すると考えた。車両の挙動を示すパラメータには「位置」「速度」「姿勢角」が存在し、これら3つのパラメータを前もって提示することが不安の低減に繋がる。

仮説2. 人間のアイコニック・メモリは約1秒で減衰する⁸⁾とされていることから、この時間の前後で搭乗者の処理できる情報の特徴が異なる。特に歩行者密度が高い走行

シーンでは、歩行者回避のために自律移動の挙動が複雑になり、予測が困難になることから、1秒よりも長い将来の情報を提示しても記憶し、処理することができず、不安低減の効果が小さくなる。

3 不安生起特性の把握実験

3.1 実験概要

搭乗者の不安生起特性を把握するために、実験参加者にドライビングシミュレータの環境下で異なる情報提示条件におけるセンサカーの自律移動に体験してもらい、不安感に関する主観評価を取得した。9名の成人男女（23.3±1.1歳）に参加してもらい、情報提示に関しては自律移動システムが算出した将来挙動をもとに表示していることを事前に教示した。本実験にて、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承認の下で実施した。

3.2 計測項目

本実験では搭乗者の主観評価を7段階のリッカート尺度で取得した。質問事項を表1に示す。また搭乗者が注意を向けている対象を特定するために視行動計測器にて注視点と計測した。

Table.1 Questionnaire of the experiment

QUESTIONNAIRE	-3	+3
Predictability of PMV's future position	Unpredictable	Predictable
Predictability of PMV's future velocity	Unpredictable	Predictable
Predictability of PMV's future angle	Unpredictable	Predictable
Anxiety against PMV's behavior	Relaxed	Anxious

3.3 実験条件

3.3.1 情報提示条件

小型自律移動体の挙動を定めるパラメータとして、位置、速度、姿勢角の3種類がある。これらの情報を提示する方法として以下の3種類の情報提示手法を設定した。

○ 経路照射型 図1-(a)

経路照射型は、渡辺らの研究³⁾と同様に車両の将来の位置情報を元に、進行経路を線状に地面に照射する。

○ パーソナルスペース(PS)型 図1-(b)

PS型は、車両の将来の速度情報を元に、地面に楕円を照射する。長軸方向が将来の速度ベクトルの向きであり、その拡大率は車両の将来の速さに比例する。

○ 先行車追従型 図1-(c)

先行車追従型は車両の将来の姿勢角と位置の情報を元に仮想的な先行車を投影する。

上記3種の情報提示手法に、情報提示なし、を加えた4パターンで実験を行った。また、1秒先の情報をもとに提示する場合と3秒先の情報をもとに提示する場合を比較検討した。実験条件を表2にまとめる。

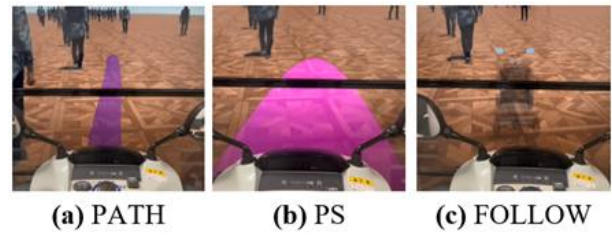


Figure.1 Visual information examined in this study.

Table.2 Experimental Conditions

ID	Visual Info.	Presenting Info.
None	n/a	n/a
Pa01	PATH	1 sec. ahead
Pa03	PATH	3 sec. ahead
PS01	PS	1 sec. ahead
PS03	PS	3 sec. ahead
Fo01	FOLLOW	1 sec. ahead
Fo03	FOLLOW	3 sec. ahead

3.3.2 走行条件

走行シーンに関しては周辺歩行者密度の異なるA,Bの条件で走行した。走行シーンAはBより周辺歩行者密度が高く、歩行者を回避するために蛇行が頻発する経路になっており、将来挙動の予測がより困難であることから、比較的不安が発生しやすいシナリオであると考えられる。また仮説2より、走行シーンAでは直近の情報(1秒先の情報)を提示する方が不安は低減すると想定している。

3.4 視行動分析手法

本実験では主観評価により予測と不安の関係性を見るだけでなく、搭乗者の注意対象を視行動から特定することで注意と不安の関係性も調べたい。そこで注視対象の偏りとその遷移(サッカード)を評価するために注視点が集まる領域AOI(Area of Interest)を設定し、各AOIの注視割合(π)とAOI間の遷移確率(p_{ij})のばらつきの指標である遷移確率のエントロピー(H_t)を評価指標として設定した。

H_t の定義⁹⁾は以下に示す。ただし、 i や j は各AOIを指し、 n は分析区間内のAOIの総数を指す。

$$H_t = - \sum_{i=1}^n \pi_i \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, i \neq j \quad (1)$$

3.5 実験結果

各走行シーンにおいて情報提示条件ごとの不安評価を図2と3に示す。ただし、図中のアスタリスクはNoneとの有意差を示す。まず、情報提示なしで走行した条件(None)を走行シーン間で比較すると、走行シーンAの不安評価が走行シーンBよりも高いことが分かる。また、予測性の3項目もすべて走行シーンAの方が低かったことから、歩行者回避のために車両挙動が複雑になる走行シーンAは車両の将来挙動を予測しづらく、不安を感じやすいことを確認した。

仮説1に関して、不安を感じやすい走行シーンAでは、位置と姿勢角を提示したPATHとFOLLOWで不安が有意に低減できることを確認できたが、速度を提示したPSでは確認できなかった。実際にアンケート項目のうち予測に

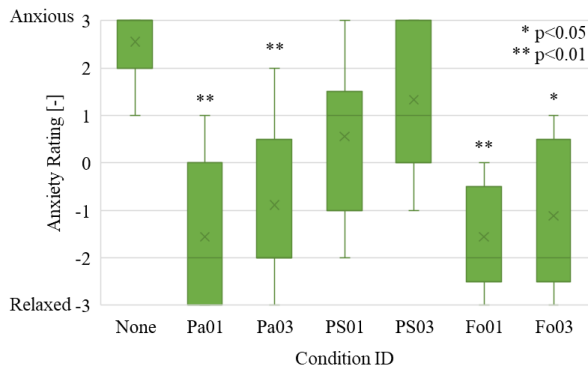


Figure.2 Subjective assessment scores for anxiety under different conditions in scene A.

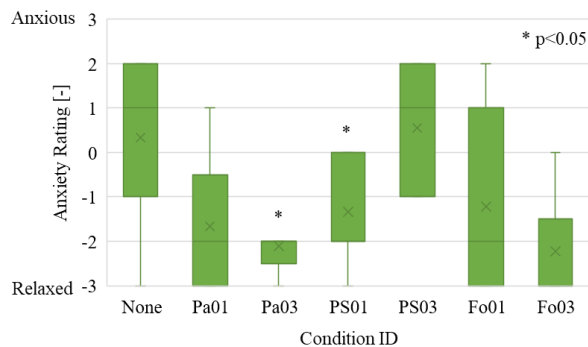


Figure.3 Subjective assessment scores for anxiety under different conditions in scene B.

関する項目を説明変数, 不安の項目を目的変数とする重回帰分析を行ったところ, 説明変数として有意だったのは位置と姿勢角の予測しやすさのみだった。これは, 車両の将来位置と姿勢角が予測しやすくなることは搭乗者の不安低減に繋がることを意味する。

仮説 2 に関して, 将来予測が困難な走行シーン A では 3 秒先よりも 1 秒先の情報を提示した方が不安を低減させた。これは, その逆の傾向が走行シーン B にて不安低減効果を有する PATH と FOLLOW で見られたことから, 将来予測が困難なシーンほど直近の情報が不安をより低減させることを意味する。これは PMV の挙動が複雑な時, それを情報として事前に提示してもアイコニック・メモリに保持されにくく, 遠い将来の情報よりも直近の情報の方が予測に資する情報として処理されやすかったことが原因であると考えられる。また走行シーン A の Pa03 や Fo03 では情報提示が周辺歩行者と重複して表示されることがあり, この重複によって衝突する将来を予測してしまい, 不安の増大に繋がってしまうことが実験参加者のコメントから判明した。予測によってかえって生じてしまう不安を予期不安と呼ぶ²⁾。本研究でもこの予期不安の存在が確認された。

3.6 視行動分析による考察

不安と注意の関係を調べるために, まず, 走行シーン A の条件 None の中でも特に不安が生じやすい区間にて, 実験参加者を不安評価の数値に応じて高群と低群に分け, 視行動の違いを分析した。その結果, 遷移確率エントロピー H_t は不安高群にて 0.30 ± 0.12 , 低群にて 0.16 ± 0.07 と高群の方が高い値を示した。これは, 不安を感じた人はそ

うでない人と比べ, 高確率で探索的な視行動を行うことを意味する。これは, 搭乗者が不安を感じた際, その解消に繋がる情報を得ようとすることが要因として考えられる。

この探索的な視行動は情報提示を行った際に低下した。これは情報提示から不安を解消させる情報を得られることが分かったため, 探索的な視行動を行わなくなったことが考えられる。また, 情報提示をした条件では情報提示に対する注視割合が増加したと同時に, 接近する歩行者に対する注視割合が低下した。搭乗者は接近する歩行者に対しても不安を感じる可能性があり, 情報提示は車両挙動に対する不安だけでなく, 接近する歩行者に対する不安も低減させる効果があると考えられる。

4 考察内容の検証実験

4.1 実験概要

前章の実験の考察から情報提示が接近する歩行者に対する不安も低減させる可能性が示唆されたため, 歩行者接近に伴う不安が生じやすい走行シーンを用いてこれを検証する。実験参加者は 9 名の成人男女 (24.6 ± 2.6 歳) であり, 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。

4.2 計測項目

本章の実験の主観評価として歩行者接近に対する不安を 7 段階のリッカート尺度を用いて実験参加者から聴取した。

4.3 実験条件

まず歩行者接近による不安が生じやすい走行シーンとして PMV と対向方向に進む歩行者群の中を移動する走行シーンを設定した。

また, 情報提示の条件は 3 章の実験にて不安低減効果を有することが判明した PATH と FOLLOW に限定する。

4.4 実験結果

本実験で選定した走行シーンにおける, 歩行者の接近に伴う不安評価を図 4 に示す。図中のアスタリスクは None との有意差を示すことから, この結果は情報提示が歩行者の接近による不安を低減させる効果も有することを意味する。特に 3 秒先の情報を提示した条件の方が 1 秒先の提示よりも不安低減効果が高いことが分かった。

4.5 視行動分析による考察

前章の考察と同様に情報提示を行うことで接近歩行者に対する注視割合が低下しているかを視行動分析により確認する。図 5 は各情報提示条件に対する注視割合の違いを示す。この図は情報提示を行うことで不安生起対象である接近歩行者の注視割合(図中に黄色で示す割合)が低下することを示している。3 秒先の情報を提示した時, 特に Fo03 の情報提示の際に, 顕著にその違いが表れた。

図 4 が示す通り, 3 秒先の情報(特に Fo03)を提示した時に不安がより低減したことを踏まえると, 接近歩行者への注視割合の低下は歩行者接近に伴う不安の低減に繋がることを意味する。3 秒先の情報提示にてこの傾向が強い要因として, 3 秒先の情報が受容されやすい位置に提示されたことが挙げられる。人間には安定注視野と呼ばれる探索動作なしで情報受容が可能な範囲が存在し, 「1 秒先の情報提示は意識的に見ないといけなかった」という実験

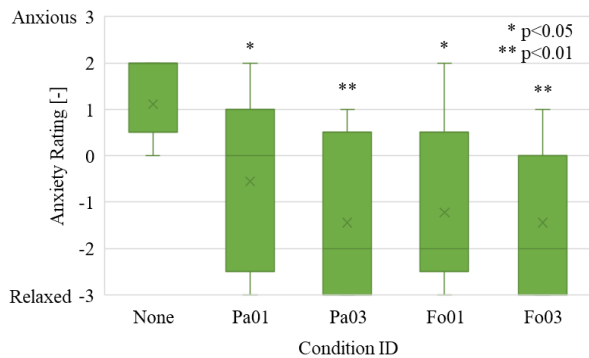


Figure.4 Subjective assessment scores about anxiogenic pedestrians under different conditions

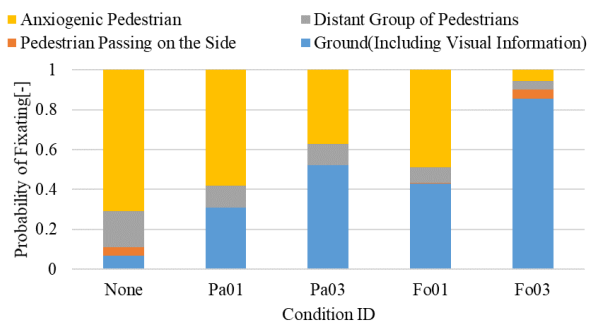


Figure.5 Probability of fixating in different conditions

参加者のコメントからも、3秒先の情報提示の方が提示位置の関係で搭乗者の注意を集めやすかったと考えられる。

5 搭乗者の不安生起特性

3章と4章の実験から以下の不安生起特性を把握した。

- ① 搭乗者は自律移動体の将来位置と姿勢角が予測しやすくなると車両挙動に対する不安が低減する。
- ② 情報提示によって搭乗者の予測は補佐され、車両挙動に対する不安は低減されるが、走行シーンに応じて記憶に保持できる情報のタイムスパンが異なり、不安を低減させやすい情報提示の特徴は異なる。
- ③ 搭乗者は情報提示により将来が予測しやすくなっても、衝突などを想起させるネガティブな将来を予測させてしまった場合、予期不安が発生し、不安が増大する。
- ④ 搭乗者が不安を感じた場合、不安の解消に繋がる情報を得るために探索的な視行動を行う。
- ⑤ 情報提示を行うことで搭乗者が探索的な視行動を行う頻度は低下し、注視点が情報提示に集まり、周辺歩行者の接近に伴う不安が低下する。

6 情報提示の要求機能

5章の不安生起特性から、情報提示には車両挙動に対する不安と接近歩行者に対する不安の二種類の不安を低減させる効果を有することが分かる。車両挙動に対する不安低減のためにはポジティブに評価される将来を予測しやすくなることが重要であり、歩行者接近に対する不安を低減させるためには情報提示が搭乗者の注意を集めやすことが重要である。そして、情報提示により搭乗者の不安低減効果を得るためには以下の要求機能を満たす必要があることを、不安生起特性を踏まえて明らかにした。

- 車両の将来位置と姿勢角を搭乗者に伝達すること
- 搭乗者が車両挙動に対して予測した内容を1秒以上保持する必要がないこと
- 提示した将来位置と現在の歩行者が重複しないこと
- 提示した将来姿勢角が蛇行運転を示さないこと
- 搭乗者の安定注視野の範囲内にコンテンツを提示すること

7 結言

本研究では、情報提示が自律移動体搭乗者の不安に与える影響をドライビングシミュレータによる実験で調査し、搭乗者の予測と不安の関係性や注意と不安の関係性を不安生起特性として把握した。

把握した不安生起特性から、情報提示には車両挙動に対する不安と接近歩行者に対する不安の二種類の不安を低減させる効果を有することが分かり、この効果を得るために情報提示が満たすべき要求機能を抽出した。

本研究で述べた要求機能は人間の持つ特性から抽出しているため、本研究の実験対象である自律移動するPMVの搭乗者以外にも適用可能である可能性が高く、今後の課題としてその拡張性を検討する余地がある。

文献

- 1) 笹山琴由, 上船智也: 自動運転車椅子乗車中の不安を感じ始めるタイミング, 情報処理学会研究報告, 134(10), (2021).
- 2) 松浦隆信, 佐藤啓太, 臨床心理学に基づく自動車運転における不安の類型化と対策, 自動車技術会論文集, 48(1), (2017).
- 3) Atsushi Watanabe, et.al, "Communicating Robotic Navigational Intentions", IEEE/IROS, pp.5763-5769, (2015).
- 4) Gratch, J., Marsella, S., Mao, W., "Towards a Validated Model of "Emotional Intelligence"", The Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence and the Eighteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, (2006).
- 5) Treisman, "Features and Objects in Visual Processing", Scientific American, (1986).
- 6) Yiend J., "The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information", Cognition and Emotion, Psychology Press, pp.65, (2010).
- 7) Jakob H, 予測する心, 佐藤亮司訳, 勁草書房, (2021).
- 8) Sperling G., "The information available in brief visual presentations", Psychological Monographs, Vol.74, pp.1-29 (1960).
- 9) Dillen, N., Ilievski, M., Law, E., Nacke, L. E., Czarnecki, K., & Schneider, O., "Keep calm and ride along: Passenger comfort and anxiety as physiological responses to autonomous driving styles." In Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems, pp. 1-13, (2020).
- 10) 畑田豊彦, 人工現実感に要求される視空間知覚特性, 人間工学, 29(3), (1993).