

自動運転車椅子乗車中の不安を感じ始めるタイミング

笹山琴由¹ 上船智也¹

概要: Autonomous Personal Mobility Vehicle (APMV) の需要が増加している。自動運転車の乗員と同様に、APMV の乗員は走行中の様々なシーンで不安を感じる。不安を緩和する方法の 1 つは、APMV の挙動を乗員に予告することである。しかし、APMV の挙動をどのタイミングで乗員に通知すれば、乗員の不安を適切に緩和できるのかは明らかになっていない。そこで、APMV に乗って不安要因に近づいていくシーンを再現し、乗員が不安を認識し始めるタイミングを調査した。その結果、0.72~1.96 秒前に不安を認識し始める可能性が示唆された。さらに、刺激の感じ方には個人差があるため、個人特性と不安発生タイミングの関係を調査した。その結果、不安要因に近づくときの不安の強さと、不安を感じ始めてから不安要因に到達するまでにかかる時間との間には、弱い正の相関があることがわかった。

キーワード: 自動運転車椅子, 不安, 重回帰分析

A Study on When to Start Feeling Anxious While Moving in an Autonomous Personal Mobility Vehicle

KOTOYU SASAYAMA^{†1} TOMOYA UEFUNE^{†1}

Abstract: In recent times, the demand for autonomous personal mobility vehicles (APMVs) has been growing. People who ride APMVs, such as those who ride autonomous vehicles, experience anxiety in many situations. One way to relieve anxiety is to inform the occupants regarding the operational features of APMVs. However, it is unclear when the APMV operation should be notified to reduce occupants' anxiety. Therefore, to investigate when anxiety occurs in APMVs, we experimented with scenes in approaching anxiety factors. It was proposed that the occupants in APMVs became anxious 0.72–1.96 s before they were closest to anxiety factors. In addition, because there are individual differences in how stimuli are received, the relationship between individual characteristics and the timing of anxiety were investigated. The results showed a weak positive correlation between the intensity of anxiety when approaching the anxiety factor and the time it took to reach the anxiety factor after an individual starts feeling anxious.

Keywords: Autonomous Personal Mobility Vehicle, Anxiety, Multiple Regression Equation

1. はじめに

高齢化社会におけるスマートシティでは、ラストワンマイルの移動手段として、自動運転車椅子 (APMV: Autonomous Personal Mobility Vehicle) の需要が高まると予想されている[1][2]。自動運転車の乗員と同様に、APMV の乗員は走行中の様々なシーンで不安やストレスを感じる[3]。不安を緩和する方法の 1 つは、不安発生前に APMV の挙動を乗員に予告することである。しかし、不安要因に近づく際、どのタイミングで乗員が不安を感じ始めるのかが明らかではないため、APMV の挙動を乗員に通知するのに適切なタイミングを議論することが難しい。また、不安要因により不安を感じ始めるタイミングは異なる可能性がある。さらに、感情刺激の感じ方には個人差があり[4]、好みの運転スタイルに反すると不快や不安を感じる[3]ため、APMV の乗員が不安を感じ始めるタイミングは個人特性の影響を受ける可能性がある。本稿では、乗員が不安に感

じ始めてから不安要因に最接近するまでにかかる時間を不安発生時間 (SFA-Time: Start Feeling Anxious Time) とよぶ。

本稿の目的は、2 つある。1 つ目は、SFA-Time が不安要因毎に異なるかの確認である。異なるのであれば、不安要因ごとに APMV の挙動の通知タイミングを変える必要がある。2 つ目は、SFA-Time と、個人特性の関係を調査することである。個人特性は、不安強度、APMV への不信感、特性不安とする。検証する仮説は以下のとおりである。

仮説 1: SFA-Time は不安要因毎に異なる。

仮説 2-1: 不安強度が高いほど SFA-Time が長い。

仮説 2-2: 不信感が高い人ほど SFA-Time が長い。

仮説 2-3: 特性不安が高い人ほど SFA-Time が長い。

仮説 2-4: SFA-Time を個人特性から予測できる。

本稿では、先行文献から抽出した開発重要度と実験の実現容易性から、3 つのシーン ((1) 歩道幅が狭くなる (S-Narrow), (2) 歩行者が歩道を横切ろうとしている (P-Cross), (3) 歩行者が正面から歩いてくる (P-Walk)) を対象とする。

¹ 三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Co., Kamakura,
Kanagawa 247-8501, Japan

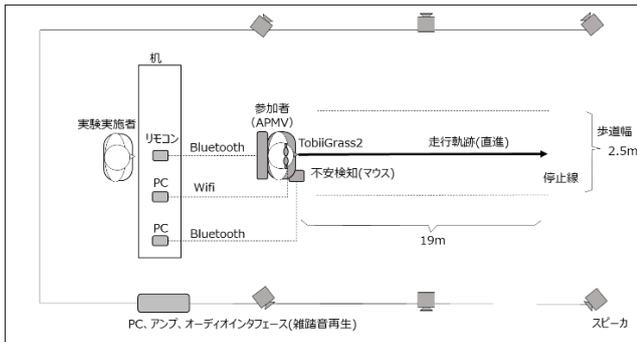


図 1 実験環境 模式図



図 2 実験風景

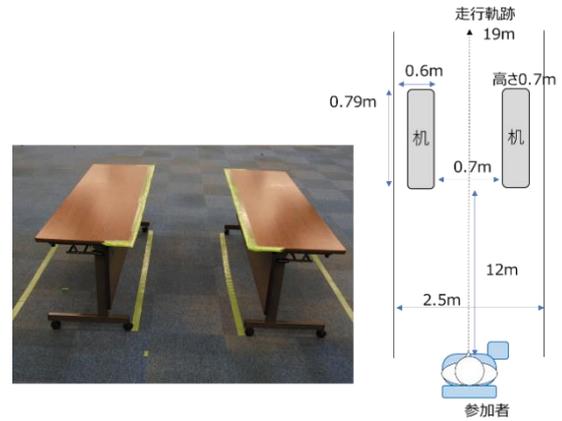


図 3 S-Narrow

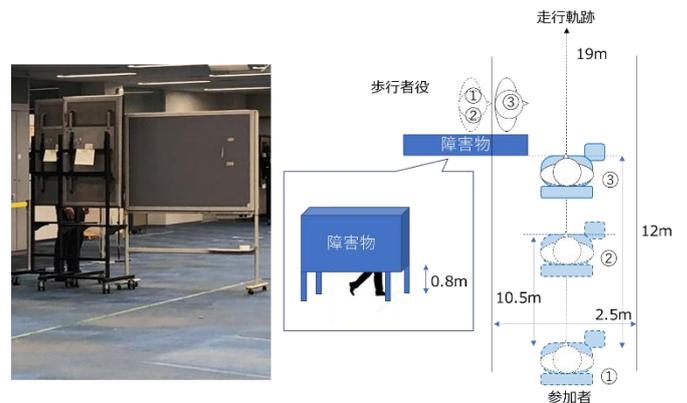


図 4 P-Cross

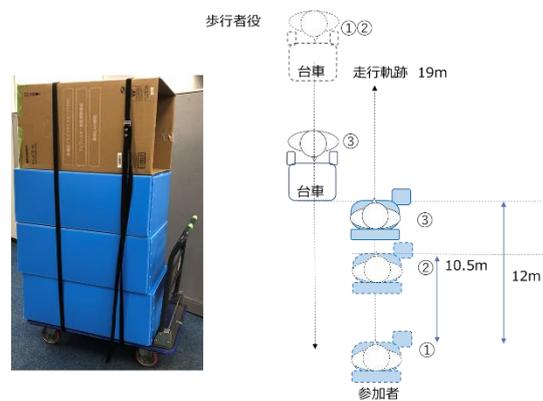


図 5 P-Walk

2. 方法

2.1 参加者

参加者は、任意で参加した 20 代から 50 代の健康な三菱電機社員 18 名(男性 15 名, 女性 3 名)である。順序効果を考慮して、参加者が体験するシーンの順番を設定する。

2.2 実験環境

実験条件の統制のために、実験は室内で行う。歩道を走行するシーンを再現するため、街中の雑踏音を 6 台のスピーカーから再生し、走行中に 42~46dB(A)になるように調整する。APMV は、市販の電動車椅子(WHILL 社製)を遠隔操作して代用する。不安発生タイミングの申告のため、電動車椅子の手すりにワイヤレスマウスを設置する。マウスのデータは、Bluetooth で PC に送信し、マウスを押した時間を記録する。発車の合図音と同時に、APMV は走行を開始する。参加者には事前には知らせないが、どのシーンにおいても、急発進後、19m 直進して、急停止する。走行時間は約 25 秒である。参加者は TobiiGrass2 を装着する。実験環境を図 1、図 2 に示す。

S-Narrow シーンを図 3 に示す。道幅減少後の歩道幅は、70 cm に設定する。これは、バリアフリー新法第 15 条「出入口の幅 80 cm 以上」を参考にパイロットテストを行った結果である。その際、参加者が不安に感じやすく、実験実施者の遠隔操作が容易であるという観点で調整を行った。

P-Cross シーンを図 4 に示す。歩行者は床面 0.8m 以上の障害物で腰上が見えているが足は見えていない。APMV が

歩行者の 1.5m 手前の位置に来た時に、歩行者は少しだけ動き、衝突直前に停止する。参加者は、歩行者がどのような動きをするかを知らされていない。

P-Walk シーンを図 5 に示す。台車を押す歩行者の顔が見えないように、台車にベルトで固定した空の段ボール箱を積み上げる。台車は、APMV とすれ違う 1.5m 手前から動き始める。

a 三菱電機株式会社の倫理審査委員会の承認を得て実験を実施した。

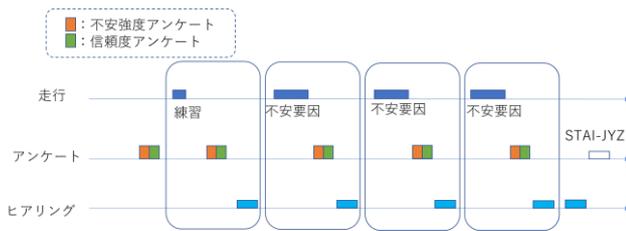


図 6 実験の流れ

2.3 実験の流れ

参加者 1 人あたりの実験の流れを図 6 に示す。参加者は APMV で 4 回走行する。1 回目は練習走行、2~4 回目が本番走行である。練習走行は、参加者が APMV の乗車に慣れるために行う。本番走行は、S-Narrow, P-Walk, P-Cross であり、参加者ごとに体験順序が異なる。走行中、参加者は、少しでも不安を感じ始めたときに、マウスの左ボタンを押す。各走行後に、参加者は、直前の走行に対して、不安強度と不信感に関するアンケートに回答する。その後行うヒアリングでは、ボタンの押し間違いや押し忘れがなかったかどうかを確認する。全ての走行終了後には、STAI-JYZ[5] への回答と、実験で使用した電動車椅子を APMV だと信じていたかを確認する。

2.4 評価方法

2.4.1 SFA-Time

SFA-Time (秒)は、出発時刻から APMV が不安要因に最接近するまでの経過時間(秒)と、出発時刻から参加者が不安を感じ始めるまでの経過時間(秒)から算出する。算出式を(1)に示す。

$$SFA-Time = t_{\alpha} - t_{\beta} \quad (1)$$

2.4.2 個人特性

個人特性は、不安強度、APMV への不信感、不安特性を用いる。データの分析には、R(version 3.6.1)と R 関数(anovakun version 4.8.5)を用いる。

不安強度は、自作の 5 段階リッカートスケールである。値が大きいほど不安強度が高い。走行シーン中の 6 つの測定タイミング(a1: 出発時, a2: 不安要因への接近時, a3: 不安要因の通過直前(最接近時), a4: 不安要因を通過中(最接近時), a5: 不安要因を通過直後, a6: 終了時)について回答する。a2 は、S-Narrow では、a1 と a3 の中間、つまり出発から 6m 地点である。また、P-Walk と P-Cross では、不安要因が動き始めるタイミング、つまり、出発から 10.5m 地点である。a3 と a4 を分けたのは、S-Narrow で使用した机が長かったためである。しかし、パイロットテストにて、P-Walk と P-Cross では、参加者が a3 と a4 の違いを把握することは難しいと分かった。そこで、測定タイミングの解析では、最接

表 1 SFA-Time(N=18)

シーン	平均の 95%信頼区間	
	下限値	上限値
S-Narrow	0.68	3.45
P-Walk	-0.65	1.83
P-Cross	0.94	1.80
全シーン	0.72	1.96

近時として a3 と a4 の平均値を用いる。つまり、5 つの測定タイミング(A1=a1, A2=a2, A3=(a3+a4)/2, A4=a5, A5=a6)で解析する。

APMV への不信感、自作の 5 段階リッカートスケールである。値が大きいほど不信感が高い。

特性不安は、STAI-JYZ[5]の特性不安尺度で測定する。値が大きいほど、不安特性が高い。

個人特性を使用して SFA-Time を予測するために、重回帰分析を行う。重回帰分析の目的変数を SFA-Time とし、説明変数を不安強度(A₁, A₂)、APMV への不信感(R)、STAI-JYZ(S)とする式(2)において、偏回帰係数β_{A1}, β_{A2}, β_R, β_S, εを求める。変数選択にはステップワイズ法を用いる。SFA-Time を予測するには、不安要素に到達するまでのパラメータを使用することが望ましいため、不安強度はA₁, A₂のみを使用する。APMV の不信感、練習走行直後に測定した値を用いる。APMV に乗り慣れている乗員を想定しているためである。

$$SFA-Time = \beta_{A1}A_1 + \beta_{A2}A_2 + \beta_R R + \beta_S S + \epsilon \quad (2)$$

3. 結果と考察

参加者全員が電動車椅子を APMV であると信じていたことを確認した。また、反復測定の分散分析で、球面性の仮定が棄却されたときは Greenhouse-Geisser の ε で自由度を調整した。

3.1 SFA-Time

シーン条件 3 の 1 要因反復測定分散分析の結果、条件間に有意な差は得られなかった(F (1.40, 23.75) = 2.05, MSE = 6.86, p = 0.162, η_p² = 0.107)。これは、今回実験した 3 シーンでは、SFA-Time に不安要因毎の差が認められなかったことを表す(仮説 1 は支持されなかった)。SFA-Time の 95% 信頼区間を表 1 に示す。全シーンにおいて、0.72~1.96 秒で不安を感じ始めた人が多いことがわかる。不安緩和のために APMV 挙動を通知するシステムへの適用時には、SFA-Time の上限値をシステムの初期値として設定することで、不安を感じやすい人に照準を合わせる事が可能だと考えられる。なお、システムが不安緩和情報を APMV の乗員に通知してから、実際に APMV の乗員が情報を認識するまでにかかる時間については、今後調査する必要がある。

表 2 Pearson の相関係数

	SFA-Time	不信感	STAI-JYZ	
SFA-Time	1.0	0.194	-0.118	
不信感	0.194	1.0	-0.477 *	
STAI-JYZ	-0.118	-0.477 *	1.0	
不安強度	A1	0.317 *	0.333 *	-0.303 *
	A2	0.375 *	0.142	-0.263
	A3	0.157	0.209	-0.405 *
	A4	0.178	0.135	-0.368 *
	A5	0.010	-0.068	-0.152

表 3 重回帰分析の偏回帰係数

	偏回帰係数	標準誤差	t値	p値
ϵ	0.131	0.460	0.285	0.777
A1	0.638	0.400	1.596	0.117
A2	0.623	0.278	2.240	0.030 *

3.2 個人特性

仮説 1 が支持されなかったため、シーン横断で分析を行う。データ特性と相関係数(表 2)を確認した後、重回帰分析の結果(表 3)を示す。

不安強度について、シーン条件 3×測定タイミング条件 5 の 2 要因分散分析を行った結果、シーンの主効果に有意差はなく($F(2, 34) = 0.696$, $MSE = 0.448$, $p = 0.506$, $\eta_p^2 = 0.039$), 測定タイミングの主効果に有意差があり($F(2.57, 43.66) = 37.323$, $MSE = 1.114$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.687$), シーンと測定タイミングの交互作用に有意差はなかった($F(3.909, 66.454) = 1.323$, $MSE = 0.784$, $p = 0.271$, $\eta_p^2 = 0.072$). Bonferroni 法で測定タイミングの多重比較を行った結果、A1 と A2 に有意差あり($p < 0.05$), A3 はすべての測定タイミングと有意差あり($p < 0.05$), A4 は A5 と有意差あり($p < 0.05$), となった。不安要因に近づくほど不安強度が強くなり、不安要因に最接近するタイミング(A3)で不安が最大になることがわかる。

APMV への不信感について、シーン条件 3 の一要因分散分析を行った結果、条件間に有意差があった($F(1.436, 24.408) = 4.549$, $MSE = 0.323$, $p = 0.031$, $\eta_p^2 = 0.211$)。しかし、Bonferroni 法で多重比較を行うと、全てにおいて有意差は認められなかった($p > 0.05$)。

Pearson の相関係数を表 2 に示す。*印は Pearson の相関係数が有意($p < 0.05$)であることを表す。SFA-Time は、A1($p = 0.019$)と A2 ($p = 0.005$) にそれぞれ正の相関があった(仮説 2-1 が支持された)。APMV への不信感は、A1 ($p = 0.014$)と正の相関があった。また、STAI-JYZ と不信感($p < 0.001$), A1 ($p = 0.026$), A3 ($p = 0.002$), A4 ($p = 0.006$)にそれぞれ負の相関があった。

式(2)の偏回帰変数を表 3 に示す。最も有意に SFA-Time

を説明する変数は A2, 続いて A1 となった。自由度調整済み決定係数 $R^2 = 0.149$, $F(2, 51) = 5.645$, $p = 0.006$ で回帰式は有意となった。A1 と A2 の $VIF = 1.130$ で多重共線性はない。SFA-Time を個人特性から予測する式を生成できた(仮説 2-4 は支持された)が、予測精度が悪いことがわかった。他の個人特性についても検討を進める必要がある。

4. 結論

APMV 乗員の SFA-Time を実験的に調査した。その結果、今回実験した 3 シーンでは、SFA-Time に不安要因による違いはなく、不安要因に最も近づく 0.72~1.96 秒前から不安を感じ始めることがわかった(仮説 1 は支持されなかった)。また、不安強度が強いほど SFA-Time は長い(仮説 2-1 は支持された)ことがわかった。しかし、SFA-Time が、不安発生タイミング、不信感、STAI-JYZ と相関があるか否かは明らかにならなかった(仮説 2-2, 仮説 2-3 は結論が出なかった)。また、不安強度を用いて SFA-Time を予測する式を作成することができた(仮説 2-4 は支持された)が、予測精度が低いことがわかった。そのため、他の個人特性と SFA-Time との関係についても調査する必要がある。今後は、不安緩和のために、SFA-Time を用いて、APMV 挙動の適切な通知タイミングについても検討していく。

謝辞 実験計画とデータ分析についてアドバイスをいただいた株式会社イデアラボの北村美穂様と浅野昭祐様に感謝いたします。

利益相反 開示すべき利益相反状態はありません。

参考文献

- [1] Fehr Linda, Langbein W Edwin, Skaar Steven B: Adequacy of power wheelchair control interfaces for persons with severe disabilities: A clinical survey, Journal of rehabilitation research and development, Vol.37, No.3, pp.353-360(2000).
- [2] Harbert Tam: Japanese startup reinvents the wheelchair [News], IEEE Spectrum, Vol.52, No.5, pp.13-16(2015).
- [3] Dillen Nicole, Ilievski Marko, Law Edith, Nacke Lennart E, Czarniecki Krzysztof, Schneider Oliver: Keep calm and ride along: passenger comfort and anxiety as physiological responses to autonomous driving styles, Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-13(2020).
- [4] Raz Sivan, Dan Orrie, Arad Hen, Zysberg Lechu: Behavioral and neural correlates of emotional intelligence: An Event-Related Potentials (ERP) study, Brain research, Vol.1526, pp.44-53(2013).
- [5] 肥田野直, 福原真知子, 岩脇三良, 曾我祥子, Charles D. Spielberger, 新版 STAI マニュアル 実務教育出版 (2000)