

東京大学大学院新領域創成科学研究科  
人間環境学専攻

2022 年度

修士論文

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

2023 年 2 月 7 日提出

指導教員 小竹 元基 准教授



学籍番号 47216690

原田 龍之介

## 修士論文

# 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

通し番号 1 ～ 111 完

令和5年2月7日提出

指導教員 小竹 元基 准教授

47216690 原田 龍之介

# 目次

<b>第 1 章 序論</b>	<b>9</b>
1.1 研究の背景	10
1.1.1 社会的背景	10
1.1.2 移動支援の種類	12
1.2 解決したい問題	13
1.2.1 自律移動型 PMV の現状	13
1.2.2 自律移動型 PMV の問題点	17
1.2.3 不快の要素分解	18
1.2.4 本研究で扱う問題	19
1.3 問題に対する本研究の着眼点	20
1.4 本研究の目的	20
1.5 本研究の方針	21
1.6 本研究の新規性と意義	22
1.7 本論文の構成	23
<b>第 2 章 搭乗者の不安生起に関する仮説</b>	<b>24</b>
2.1 はじめに	25
2.2 不安に関する心理学的知見	25
2.2.1 感情の生起と認知的評価	25
2.2.2 不安と予測の関係性	26
2.2.3 不安と注意の関係性	27
2.2.4 人間の情報処理モデル	29
2.3 本研究における不安生起メカニズムの設定	32
2.3.1 関連研究のまとめ	32
2.3.2 不安生起メカニズム	32
2.4 本研究の仮説立案	33

---

2.4.1	情報提示の先行研究 . . . . .	33
2.4.2	情報提示が不安生起メカニズムに与える影響 . . . . .	36
2.4.3	提示する情報の種類に関する仮説 . . . . .	36
2.4.4	情報の提示するタイミングに関する仮説 . . . . .	36
2.5	第2章のまとめ . . . . .	37
<b>第3章</b>	<b>不安生起特性の把握実験</b>	<b>38</b>
3.1	はじめに . . . . .	39
3.2	実験概要 . . . . .	39
3.2.1	実験目的 . . . . .	39
3.2.2	実験方法 . . . . .	39
3.2.3	実験参加者 . . . . .	39
3.3	実験環境 . . . . .	40
3.3.1	実験環境の選定 . . . . .	40
3.3.2	実験装置 . . . . .	41
3.4	実験条件 . . . . .	44
3.4.1	走行シーン . . . . .	44
3.4.2	情報提示の種類 . . . . .	46
3.4.3	情報提示のタイミング . . . . .	46
3.4.4	実験条件のまとめ . . . . .	47
3.5	計測項目 . . . . .	48
3.5.1	主観評価 . . . . .	48
3.5.2	視行動 . . . . .	48
3.6	実験手順 . . . . .	50
3.7	実験結果 . . . . .	51
3.7.1	情報提示の種類に関する結果と考察 . . . . .	51
3.7.2	情報提示のタイミングに関する結果と考察 . . . . .	54
3.7.3	視行動分析に関する結果と考察 . . . . .	56
3.8	第3章まとめ . . . . .	60
<b>第4章</b>	<b>不安生起特性の適用範囲の検討</b>	<b>61</b>
4.1	はじめに . . . . .	62
4.2	実験概要 . . . . .	62
4.2.1	実験の目的 . . . . .	62



---

4.2.2	実験方法 . . . . .	62
4.2.3	実験参加者 . . . . .	62
4.3	実験条件 . . . . .	62
4.3.1	走行シーン . . . . .	62
4.3.2	情報提示 . . . . .	63
4.4	評価方法 . . . . .	63
4.5	実験結果 . . . . .	64
4.5.1	予期不安に関する結果と考察 . . . . .	64
4.5.2	歩行者接近に対する不安低減に関する考察 . . . . .	71
4.6	第 4 章まとめ . . . . .	79
<b>第 5 章</b>	<b>情報提示の不安低減効果と要求機能の抽出</b>	<b>81</b>
5.1	はじめに . . . . .	82
5.2	情報提示の不安低減効果 . . . . .	82
5.3	搭乗者の不安を低減させる情報提示の要求機能 . . . . .	82
5.3.1	車両挙動に対する不安低減効果に関する要求機能 . . . . .	82
5.3.2	歩行者の接近に対する不安低減効果に関する要求機能 . . . . .	84
5.3.3	要求機能のまとめ . . . . .	85
5.4	要求機能を満たす具体策 . . . . .	85
5.5	第 5 章まとめ . . . . .	87
<b>第 6 章</b>	<b>結論</b>	<b>88</b>
6.1	本研究の結論 . . . . .	89
6.2	今後の課題と将来の展望 . . . . .	90
<b>参考文献</b>		<b>91</b>
<b>謝辞</b>		<b>99</b>
<b>付録 A:予備実験 A</b>		<b>102</b>
<b>付録 B:予備実験 B</b>		<b>107</b>

## 図目次

1.1	高齢者の人口割合増加傾向 . . . . .	10
1.2	若者の人口割合減少傾向 . . . . .	11
1.3	高齢者の交通事故割合 . . . . .	12
1.4	CARTIS TypeR . . . . .	14
1.5	自律移動システムの概要 . . . . .	15
1.6	自律移動システムのシステムアーキテクチャ . . . . .	15
1.7	WHILL . . . . .	16
1.8	ET4D . . . . .	17
1.9	快適性の要素分解 . . . . .	18
2.1	認知的評価の概要 . . . . .	26
2.2	ドットプローブ課題 . . . . .	28
2.3	不安と注意の関係性 . . . . .	28
2.4	Model Human Processor . . . . .	30
2.5	Queueing Network Model Human Processor . . . . .	31
2.6	不安生起メカニズムの概要 . . . . .	33
2.7	先行研究の情報提示 1 . . . . .	34
2.8	モビリティ搭乗者に対する HMI の評価軸 . . . . .	34
2.9	自律移動型 PMV の意図伝達 . . . . .	35
2.10	先行研究の情報提示 2 . . . . .	35
3.1	Hololens 2 . . . . .	40
3.2	ドライビングシミュレータの全体像 . . . . .	41
3.3	実験の様子 . . . . .	42
3.4	Tobii Pro 2 . . . . .	43
3.5	Tobii の注視点計測 . . . . .	43
3.6	Social Force Model . . . . .	44

3.7	走行シーン A	45
3.8	走行シーン B	45
3.9	情報提示の種類	47
3.10	AOI のイメージ図	49
3.11	走行シーン A の不安評価	52
3.12	走行シーン B の不安評価	53
3.13	予測と不安の重回帰分析	53
3.14	歩行者と PATH の重複	55
3.15	情報提示なし条件における AOI の停留割合エントロピー	57
3.16	情報提示なし条件における AOI の遷移確率エントロピー	57
3.17	各走行条件における AOI の遷移確率エントロピー	58
3.18	各走行条件における AOI に対する注視割合	59
3.19	各走行条件における AOI の停留割合エントロピー	59
4.1	走行シーン C の車両挙動に対する不安評価	64
4.2	走行シーン D の車両挙動に対する不安評価	65
4.3	走行シーン C の不安生起タイミング	67
4.3	走行シーン C の不安生起タイミング (続き)	68
4.4	蛇行運転による予期不安発生区間の AOI	69
4.5	情報提示と歩行者の重複による予期不安発生区間の AOI	70
4.6	走行シーン D の歩行者接近に対する不安評価	72
4.7	安定注視野のイメージ図	73
4.8	走行シーン D の不安生起タイミング	74
4.7	走行シーン D の不安生起タイミング (続き)	75
4.8	歩行者接近に伴う不安生起区間の AOI	76
4.9	情報提示条件に応じた注視割合の違い (走行シーン D)	77
4.10	情報提示条件に応じた停留割合エントロピーの違い (走行シーン D)	78
4.11	情報提示条件に応じた遷移確率エントロピーの違い (走行シーン D)	78
5.1	車両挙動に対する不安低減効果	84
1	第三者視点の実験風景	103
2	実験参加者視点の実験風景	104
3	MR 実験の主観評価	105
4	MR 実験における Pa01 の情報提示	106

5	不安の時間変化 . . . . .	109
---	-------------------	-----

## 表目次

3.1	実験条件（特性把握実験）	47
3.2	アンケート内容（特性把握実験）	48
4.1	アンケート内容（有効範囲検証実験）	63
4.2	蛇行運転による予期不安発生の有無による遷移確率エントロピーの変化	71
4.3	情報提示と歩行者の重複による予期不安発生の有無による遷移確率エントロピーの変化	71

# 第 1 章

## 序論

## 1.1 研究の背景

### 1.1.1 社会的背景

現在医療技術の進歩などを背景に高齢化が進行している<sup>[1]</sup>。特に日本では少子高齢化が著しく進んでおり、65歳以上の高齢者人口が総人口に対して占める割合（高齢化率）は、図1.1に示すように引き続き上昇していくと日本の内閣府は予測している<sup>[2]</sup>。こうした高齢者は加齢に伴い身体機能、認知機能が衰える傾向にあり、このような背景から身体障がい者数や認知症患者数は今後も増加していくと予想されている<sup>[3][4]</sup>。身体機能や認知機能が衰えた高齢者は、生活を営む中で他者による介護が必要となる場面が増えるものの、介護者となる若者の割合が減少していることから（図1.2）、高齢者は他者の介護を必要としない自立した生活を営むことが今後求められてくる。

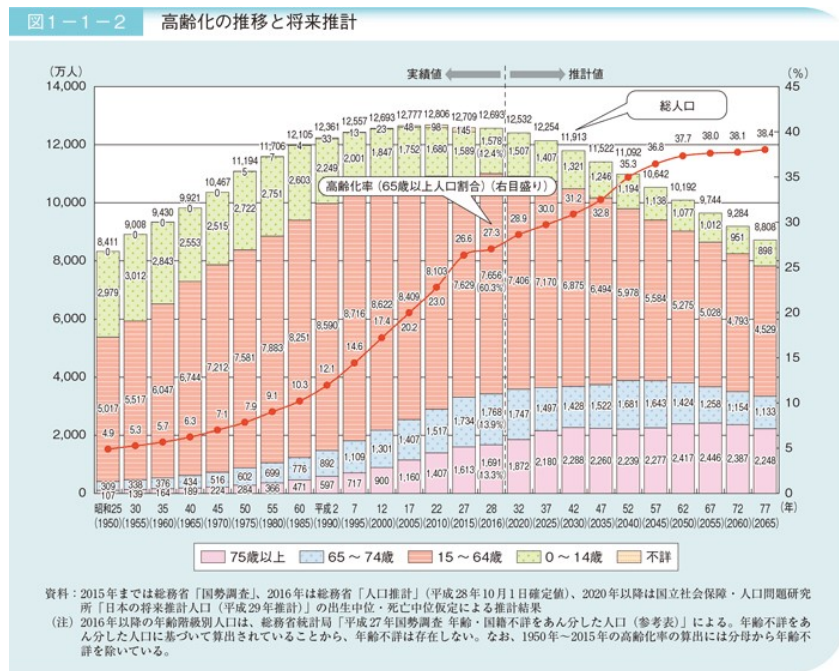
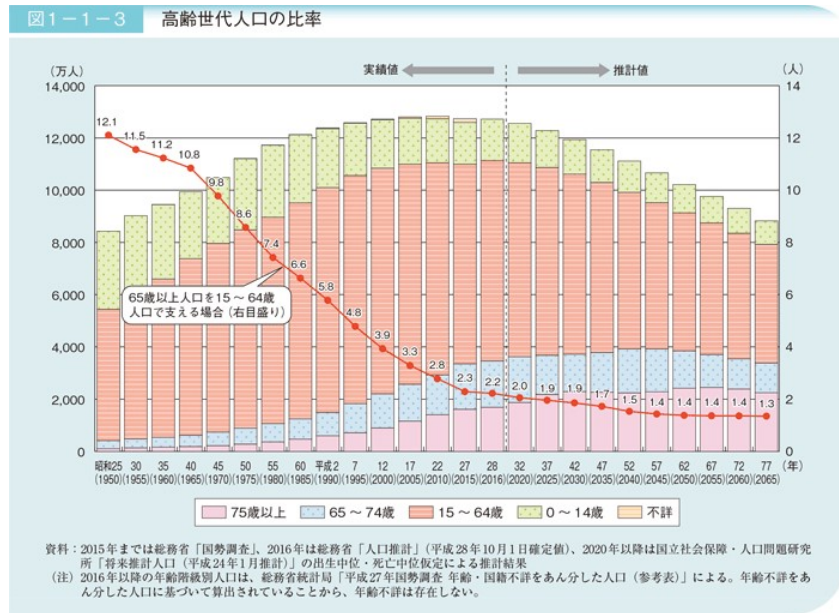


図 1.1 高齢者の人口割合増加傾向<sup>[2]</sup>

図 1.2 若者の人口割合減少傾向<sup>[2]</sup>

身体機能、認知機能が衰えた高齢者は活動意欲の低下から外出頻度が減少し、身体的・精神的活動の機会が減少することにより更に能力が低下する負のスパイラル「閉じこもり症候群」に陥る可能性が指摘されている<sup>[5][6]</sup>。さらに、外出をしない「閉じこもり」により能力低下が促進された結果として、起床しない「寝たきり」に至り、自立した生活の維持が困難になる可能性もあるとされている。高齢者の自立した生活を維持することは、個人のQOLを維持するという観点だけでなく、日本の財政を圧迫する社会保障費の抑制という観点からも重要であり、「閉じこもり」を防止することの意義は大きい。

「閉じこもり症候群」という負のスパイラルから抜け出すには、生活を活発化させ、外出などによって外部の新鮮な刺激を受けることが重要である。しかしながら、閉じこもり症候群に陥ってしまう人々は、空間的な移動を難しくする歩行能力の低下から外出意欲が低下してしまうことが指摘されている<sup>[7]</sup>。

高齢者に依らず、身体機能や認知機能の低下により、日常生活を満足に行えない人が増えており、特に移動能力が低下した人々をPRM（Person with Reduced Mobility）と呼ぶ。「誰一人取り残さない社会」の実現を目指し、日本や欧州ではこうしたPRMに向けた移動支援の研究開発および社会実装が活発化している。



### 1.1.2 移動支援の種類

人々の移動を支える技術やサービスは年々進歩してきている。日常生活において2km以上の移動には徒歩以外の手段を用いることが多い。こうした中長距離を移動する手段の一つとしてバス電車などの公共交通機関がある。しかしながら、日本では都心部の人口集中が進んでおり、地方の人口密度が減少したことで、こうした公共交通機関の収益が低下し、満足したサービスを維持することが困難となっている。そのため、車を用いた移動を行っている人が多数存在する。しかしながらPRMに該当する人々は認知機能や身体機能が低下していることから、自分で車を運転する場合、事故を起こすリスクが高くなることが想定される。例えばPRMに該当しやすい高齢ドライバーによる死亡事故は増加傾向にある(図1.3)<sup>[8]</sup>。このような交通事故を防ぐ手段として自動車の自動運転技術が期待されている。前方障害物との距離に応じて緊急停止を行う自動ブレーキシステム(AEBS)や車線からはみ出しを防止する車線維持システム(LKAS)などの運転支援システムが乗用車にも実装されており、高速道路などの限られた条件下で自動運転を行うシステムも誕生している。運転者の介入を一切必要としない完全自動運転はまだ社会実装されていないものの、研究開発が盛んに行われている。完全自動運転が社会導入された場合、PRMの中距離移動支援に大きく貢献する。

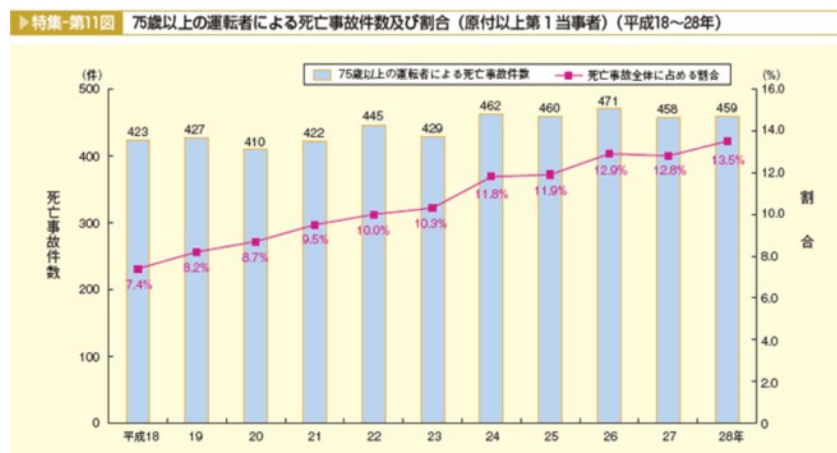


図 1.3 高齢者の交通事故割合<sup>[8]</sup>

しかしながら、日常生活においては中長距離の移動だけでなく、ショッピングモール、空港や駅構内などで比較的短い距離を他の歩行者と共に移動するケースも多く存在する。PRMの人々に向けた支援として、このように他の歩行者が行き交う空間、すなわち歩行空間における移動支援も重要である。歩行空間における移動支援は、杖や歩行アシストスーツなどを用いた歩行支援の他に、電動車いすなどの小型パーソナルモビリティ(PMV)が用いられている<sup>[9]</sup>。特に電動車いすはジョイスティック操作による入力インタフェースを採用していることから、足が完全に動かないPRM向けの支援モビリティとしても活躍している。さらに近年では、自律移動する電動車いすの研究開発も行われており、これが社会実装された場合、自動車と同様に、搭乗者の身体機能や認知機能に依らない移動支援が歩行空間において実現することが見込まれる。本研究では、歩行空間での移動を支援する自律移動型PMVを研究対象とする。次節では自律移動型PMVの現状とその問題点を整理する。

## 1.2 解決したい問題

### 1.2.1 自律移動型PMVの現状

近年、IT技術が進展し、ビッグデータの活用も積極的に行われている中で、ITS(Intelligent Transport Systems: 高度道路交通システム)を用いた社会実装が行われている。ITSとは、交通参加者と交通環境を一体として考え、情報通信技術を用いることで安全で円滑な道路交通を目指すシステムである。ITSの中でも、特に自動運転技術に関しては、2013年6月の「世界最先端IT国家創造宣言」以降、国際的な規模で技術競争が行われている。その中で日本は2014年度から始まったSIP(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program: 総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム)にて官民共同で自律移動体を走行させる自律移動システムの研究開発が行われてきている。ITS全体でも、IoTやAIの進展の後押しを受け、MaaSやデマンド交通サービスなど新たなモビリティサービスに焦点を当てた研究開発が進められている<sup>[10]</sup>。

研究開発の対象となる自律移動体として自動車がよく注目されているが、ラストワンマイルの移動や歩行空間の移動の重要性を加味して、小型のPMVも対象として研究開発が進んでいる。日本において自律移動システムの研究が行われ、対象の小型PMVの例として、以下の3つを取り上げる。

一つ目としてCARTIS(図1.4)を取り上げる<sup>[11]</sup>。CARTISは市販のハンドル形電動車いすを改造した移動ロボットであり、つくばチャレンジ<sup>[12]</sup>と呼ばれる、屋外で歩行者

が存在する環境時の無人ロボットの自律移動に挑戦する実環境コンテストにおいて、1 km 程度の指定されたルート of 完走を複数回達成している。CARTIS の自律移動システムの概要を図 1.5 に示す。自律移動システムには CARTIS が持つシステムと同様、周辺環境をセンシングし、自己位置推定を行い、ナビゲーションをするというステップが必要となる。より一般的な自律移動システムの概要を図 1.6 に示す。このシステムの記述はシステムアーキテクチャ<sup>[13]</sup>に基づく。



図 1.4 自律移動システムの導入が見込まれる機体：CARTIS TypeR<sup>[11]</sup>

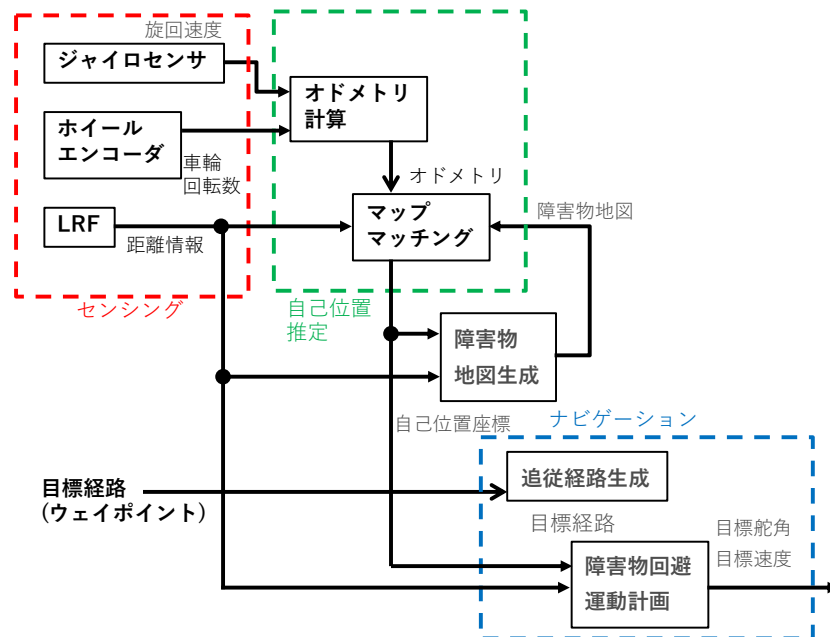
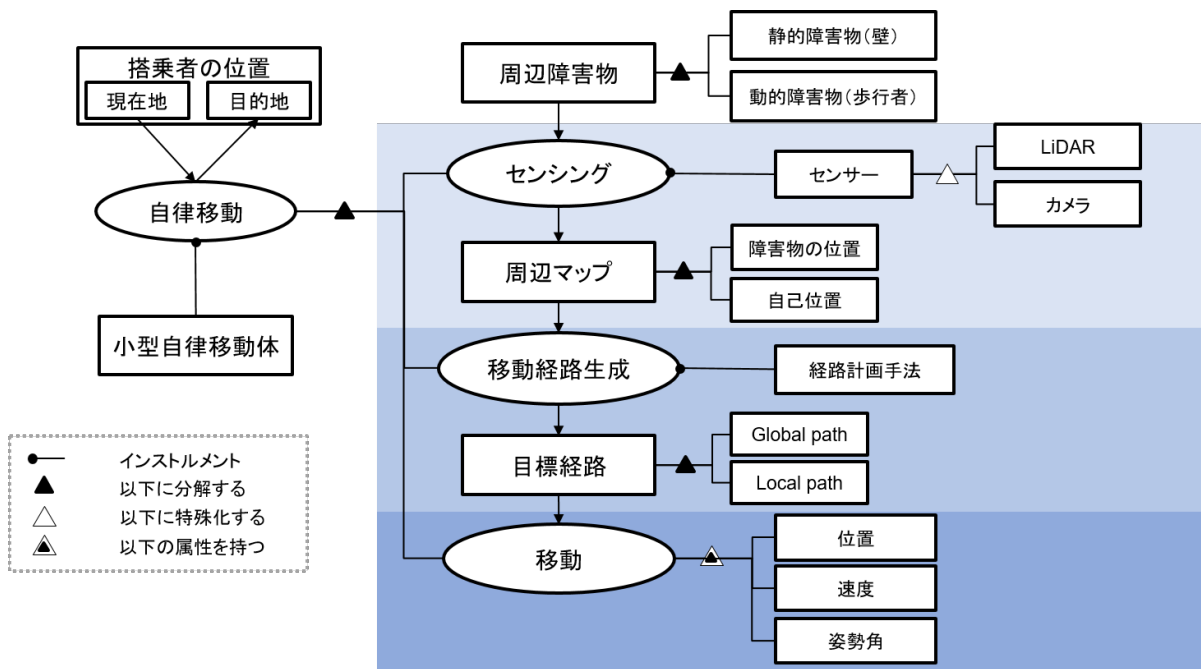
図 1.5 自律移動システムの概要<sup>[11]</sup>

図 1.6 自律移動システムのシステムアーキテクチャ

二つ目として WHILL を取り上げる。WHILL とは 2012 年に創業した日本発のベンチャー企業、WHILL 株式会社が手がける次世代パーソナルモビリティであり、電動車いすのハンドル部が存在せず、そのコンパクト性から日本の街中でも度々利用されている。この機体を用いた自律移動の研究も活発に行われており<sup>[14][15]</sup>、パナソニック株式会社もこの車両をベースとしたモビリティを使って自動運転の研究開発を進めている。実際に成田空港などの空港で自律移動型モデルの実証実験が行われており、試験的に社会導入されている。また、2021 年の 6 月から WHILL の自動運転サービスが羽田空港においても導入され、2022 年の 12 月からカナダのウィニペグ国際空港でも導入されており、今後も国内外で社会導入されていくことが見込まれている。



図 1.7 自律移動システムの導入が見込まれる機体：WHILL

最後に ET4D(図 1.8) を取り上げる。ET4D とはスズキ株式会社が開発している電動セニアカーであり、こちらも日本の高齢化社会を見越して、自律移動システムの導入が検討されている小型 PMV である。この機体を対象にした自律移動システムの研究開発も数多く行われており<sup>[16][17]</sup>、本研究においてもこの機体を対象として扱う。



図 1.8 自律移動システムの導入が見込まれる機体：ET4D

### 1.2.2 自律移動型 PMV の問題点

自律移動システムの機能要求は、搭乗者の位置を目的地まで移動させることであり、非機能要求としては安全であることや快適であることが挙げられる。歩行者などの動的障害物や壁などの静的障害物と衝突したり、段差などによる転倒や急な速度変化によって搭乗者が振り落とされたりなど、搭乗者の安全性を脅かす要因は様々存在する。しかしながら、これらの安全性が例え担保されたとしても、搭乗者が周辺交通参加者との衝突や転倒、走破失敗を予期する場合、搭乗者は不快と感じる可能性がある。自律移動型 PMV などの自律移動サービスの主となるステークホルダーである搭乗者が不快を感じる場合、社会に導入することが困難である。そのため、搭乗者に不快と感じさせないことも自律移動型 PMV の課題となる。実際に自律移動型 PMV に関する先行研究においても、搭乗者が不快を感じるという事例が挙げられており、不快を低減させる施策が検討されている [18] [19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26]。



### 1.2.3 不快の要素分解

歩行空間を自律移動する PMV の搭乗者が不快と感じる要素を、PMV に搭乗することによる不快、自律移動による不快、歩行空間を移動することによる不快、の3つの観点で分類し、整理した。

まず PMV に搭乗することによる不快の要素として、シートの座り心地が悪いことや<sup>[19]</sup>、速度・角速度変化による揺れ<sup>[20] [21]</sup>などが先行研究で挙げられている。

また、自律移動による不快の要素として、自律移動体の将来挙動に対する不安<sup>[18] [22] [23]</sup>、車両の挙動に対する予測がしにくいこと<sup>[18] [24]</sup>があると整理されている。

最後に、歩行空間を移動することによる不快要素として、障害物との距離が近すぎることにに対する不安<sup>[25]</sup>や周辺環境の雑音<sup>[26]</sup>があると述べられている。

以上に示す通り、様々な観点から搭乗者の不快が議論されている。

先行研究<sup>[27]</sup>では自律移動する PMV の搭乗者の快適性を「乗員挙動」と「安心感」に大別し、「安心感」もシステムに対する「驚き」と周辺環境に対する「衝突危険感」や「近さ・圧迫感」に分類することができると整理されている（図 1.9）。この図に対して、PMV に搭乗することによる不快は「乗員挙動」、自律移動による不快はシステムに対する「驚き」、歩行空間を移動することによる不快は周辺環境に対する「衝突危険感」や「近さ・圧迫感」に該当する。本研究では搭乗者の快適性のうち、「安心感」を損なわないこと、すなわち、搭乗者が不安を感じないことに焦点を当てる。

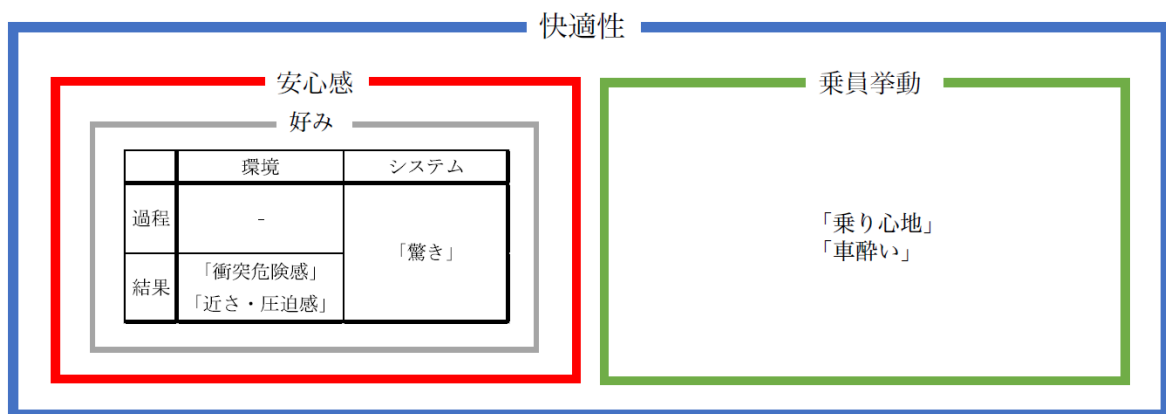


図 1.9 快適性の要素分解<sup>[27]</sup>

### 1.2.4 本研究で扱う問題

本研究では上記に述べた不快の要素のうち、自律移動体の将来挙動に対する不安に着目した。不安とは心理学の分野では「自分にとって脅威となることが予測される際に生じる漠然とした不快な情動」と定義されている<sup>[28][29]</sup>。この対概念となる安心に関しては文部科学省が「人が知識・経験を通じて予測している状況と大きく異なる状況にならないと信じていること」と定めている<sup>[30]</sup>。また、リスク認知研究の分野において中谷内は『安全は安心のための必要十分条件であるが十分条件ではない』ことや安心には『危険を回避した際に不安が低減し「感じる」安心と、リスク管理によってそもそも安全とか危険といった不安を「感じない」状態にある安心』の二種類が存在すると定義している<sup>[31][32][33]</sup>。自動車運転における不安感発生の理論に関しても「理想と現実の乖離」が重要事項として整理されており、人間の予測という機能が不安の発生に大きく寄与することが考えられてきた<sup>[34]</sup>。

本研究の対象である自律移動型 PMV の搭乗者は、オーバーライドなどの特殊な状況以外では自身の意図が車両の将来挙動に反映されないことから「理想と現実の乖離」、すなわち、搭乗者が予測した車両の将来挙動と実際の車両挙動との乖離が発生しやすく、自律移動体の将来挙動に対する不安が生起しやすい対象であり、この不安を低減させることが搭乗者に不快を感じさせないうえで特に重要な問題であると考えた。

嶋田らの研究<sup>[31]</sup>では、他者の運転操作により疑似的に自律移動する自動車において、車両の挙動の予測が立たないことが搭乗者の不安につながることを明らかにしている。PMV は自動車に対して移動速度の平均値や分散が小さいという特徴を持つものの、自律移動する際には車両の将来挙動が手動運転と比較して予測しにくくなる点は自動車の自律移動と共通している。このことから自律移動する PMV の搭乗者も車両挙動に対する不安を感じる可能性が高い。実際に本研究ではシミュレーション環境にてこの不安が生起していることを確認しており、その詳細を 3 章にて述べる。

また、自律移動体に搭乗するうえで不安を感じる必要がある場合がある。例えば先ほど述べたオーバーライドは、自動運転車の誤作動時に搭乗者が操作に介入し、事故を防ぐ仕組みであり、搭乗者がオーバーライドを行うためには周辺環境から情報を得て不安を感じる必要がある。また、運転支援の分野では安全性を高めて搭乗者の安心感を高めても、その分だけ搭乗者が大胆な行動をとることによって、危険の発生率が一定の範囲内に保たれてしまうというリスクホメオスタシスと呼ばれる現象も存在する。本研究の対象として設定した自律移動型 PMV も緊急停止装置などを搭載し、安全が担保された状態であることを前提に考えている。すなわち、本研究対象においても自律移動体の操作に介入するために必要となる不安は存在する。しかしながら、嶋田らの



研究<sup>[31]</sup>などで、自律移動体への操作介入が必要ではない場面においても不安が生起していることを確認している。本研究ではこのような「感じる必要がない不安」を対象にし、この不安を低減させることを目指す。

### 1.3 問題に対する本研究の着眼点

不安などの感情の生起には認知的評価が重要な役割を担っているとされており<sup>[35]</sup>、認知的評価では自らが環境のストレスに対してどれだけ対処可能かが評価に影響を与えると言われている<sup>[36]</sup>。特に今回の研究対象である自律移動型 PMV の搭乗者は、前述の通り、自身の意図が車両の将来挙動に反映されないことから不安が生起しやすい対象であり、車両の将来挙動に対する「予測のしやすさ」が不安と関連してくる考えた。これらの「予測」に関する項目は認知的評価の評価軸としても挙げられている。

本研究における搭乗者の車両に対する予測を、搭乗者が車両の位置や速度、姿勢角などの挙動を周辺の環境情報や車両の過去の挙動から推定し、推定した将来の状態が引き起こす衝突などの結果を含めて見通すことと定めた。

自律移動体の搭乗者の予測を補間する方法としての情報提示はすでに検討されている<sup>[18][37]</sup>。渡辺らの研究<sup>[18]</sup>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、車両の将来挙動を提示することで不安が低減する。しかしながら、情報提示のどのような要素が不安低減に寄与したかは十分に議論されていない。これは普遍的に不安を低減させる情報提示の設計手法を確立する上で重要となる。

本研究では先行研究と同様に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することが不安低減に至ると考え、その原理を搭乗者の認知心理の観点から明らかにすることを目指す。

### 1.4 本研究の目的

先行研究では自律移動体の搭乗者に対して情報提示を行うことで車両の将来挙動が分からない不安は低減することが示唆されているが、情報提示のどのような要素が不安低減に寄与したかは十分に議論されていない。すなわち、普遍的に不安を低減させる情報提示の設計手法が確立されていない。不安などの感情の生起には認知的評価が重要な役割を担っているとされており、搭乗者が環境からの刺激をどのように情報として処理したことで認知的評価が行われ、不安が生起してしまうのか、そして情報提示がその不

安生起に対してどのような影響を与えるのかという不安生起特性を考えることが重要だと考えた。

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、本研究の目的を「自律移動時における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」と定めた。

## 1.5 本研究の方針

本研究の目的を達成するための方針を以下に示す。

1. 搭乗者の不安生起に関する仮説立案

関連研究に基づき、不安生起のメカニズムを整理する。整理したメカニズムをベースに情報提示が搭乗者の不安生起に与える影響に関する仮説を立てる。

2. 不安生起特性の把握

方針 1. で立てた仮説を検証する実験を行い、実験結果を分析することで搭乗者の不安生起特性を把握する。

3. 不安生起特性の適用範囲の検討

方針 2. と異なる環境でも実験を行うことで、得た知見がどの範囲で有効なものかを検証する。

4. 情報提示による不安低減効果の整理とその要求機能の抽出

方針 2. と方針 3. で得た搭乗者の不安生起特性を考慮して、情報提示が不安を低減させる効果をまとめ、情報提示が満たすべき要求機能を抽出する。

## 1.6 本研究の新規性と意義

モビリティの搭乗者に対する情報提示は、主に自動車の分野で数多く行われているものの、搭乗者がどのように情報を処理して感情を生起されるかという人間の特性に基づき、情報提示の効果を整理した点が本研究の新規性である。特に本研究では、人間の視行動を分析することで提示した情報を得られているのか、そして主観評価を分析することで得た情報が認知のプロセスにどのような影響を与えたのかを明らかにする。このように人間の認知心理の特性に基づいて情報提示の効果を明らかにすることで、情報提示の体系的な設計-デザインに繋がることが本研究の意義である。また、本研究の対象である小型 PMV だけでなく、他のモビリティの情報提示においても本研究で得た知見が活用でき、モビリティ以外にも一般的な情報提示における重要な要素としても展開できる可能性が高いことから、学術的意義のある研究と考えている。

## 1.7 本論文の構成

本論文の構成を以下に示す.

- 第1章 序論  
本研究の背景と目的について述べた.
- 第2章 搭乗者の不安生起に関する仮説  
先行研究を元に不安生起のメカニズムを整理する. 仮説立案を行う.
- 第3章 不安生起特性の把握実験  
前章で立てた仮説をドライビングシミュレータ (DS) を用いた実験で検証する. 検証を行う中で搭乗者の不安生起に関する特性を把握する.
- 第4章 不安生起特性の適用範囲の検討  
前章の実験で用いた走行シーンとは異なる走行条件で実験を行うことで, 前章で把握した特性がどの範囲で適用可能かを検討する.
- 第5章 情報提示の不安低減効果と要求機能の抽出  
3章と4章で得られた不安生起特性を考慮して, 不安低減に寄与する情報提示の効果を整理し, その要求機能を抽出する.
- 第6章 結論  
結論と, 今後の課題について述べる.

## 第 2 章

### 搭乗者の不安生起に関する仮説

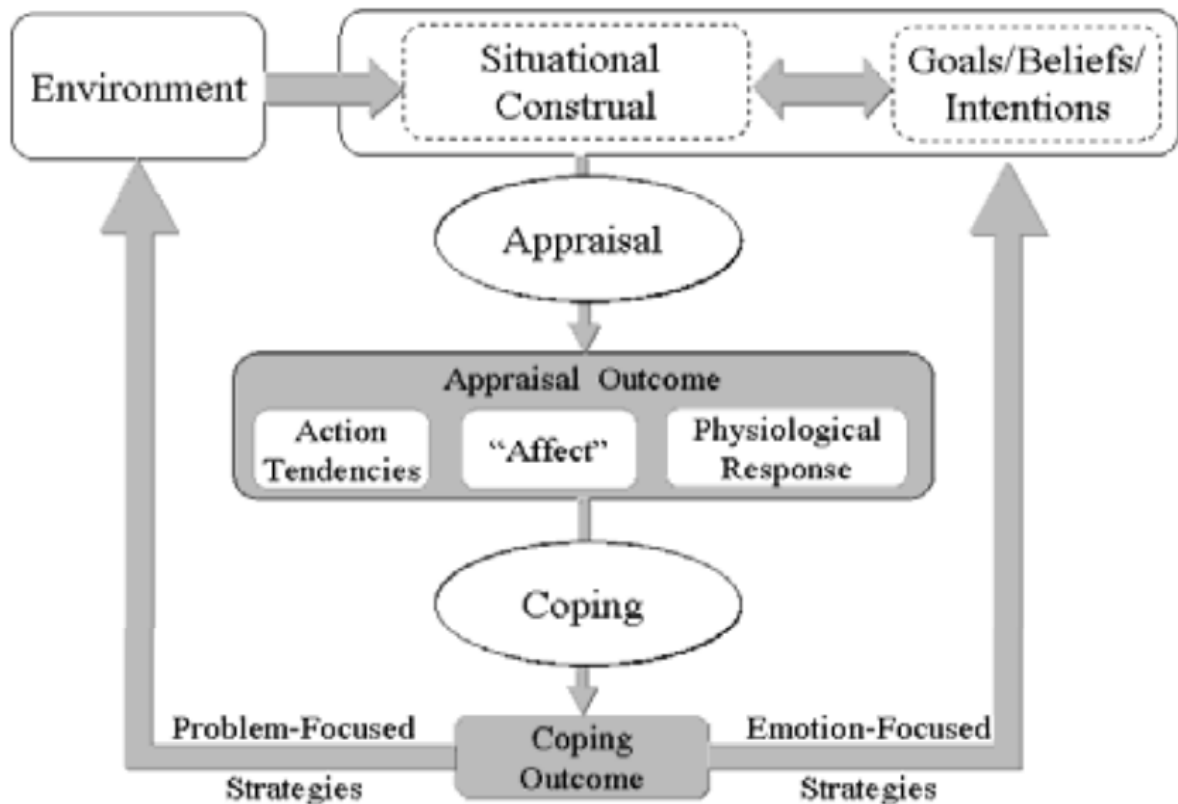
## 2.1 はじめに

本章では関連研究に基づき、不安生起のメカニズムを人間の認知心理の観点から整理する。そして整理したメカニズムを基に、情報提示が搭乗者に与える影響に関する仮説を立案する。

## 2.2 不安に関する心理学的知見

### 2.2.1 感情の生起と認知的評価

不安を含む感情の生起には認知的評価（Appraisal）と呼ばれるプロセスが重要な役割を担っていると言われている<sup>[35]</sup>。認知的評価とは、人間が環境からの刺激を取捨選択しながら情報として処理する過程でその対象を評価するプロセスのことであり、人間は環境からの刺激を直接ストレスやネガティブ感情に変換するのではなく、段階的に評価しているという理論を Lazarus ら<sup>[36]</sup>は提唱した。まず、人間は環境からの刺激が自分にとって無関係なものか、ポジティブなものか、ネガティブでかつ危険-ストレスフルなものかを評価する一次的評価（Primary Appraisal）を行う。そして危険-ストレスフルなものとして評価した場合、自分の処理資源で対処可能かを判断する二次的評価（Secondary Appraisal）を行う。二次的評価で自分の処理資源で対処しきれない刺激だと判断するとその刺激をストレスとして認知する。ストレスとして認知した対象には自らの感情的な向き合い方を変えたり、刺激に対して直接影響を及ぼすことで刺激そのものを変えたりすることで、ストレスを対処しようとするコーピング（Coping）というプロセスを行う。また、こうした一連のプロセスが行われている間にも外的環境は時々刻々と変化する。その外的環境から現在処理している刺激に対する評価を改める刺激を受け取ることがある。この場合、受け取った新しい刺激も加味してこれまでの一次的評価や二次的評価を再度試行する再評価（Reappraisal）というプロセスが行われる。この再評価は繰り返行われる可能性があり、これまでの評価過程を繰り返す中で対象に対する意味づけが行われることがある。このように刺激を情報として処理し、認知的評価を行った結果、不安などの感情が生起するとされている（図 2.1）。

図 2.1 認知的評価の概要<sup>[38]</sup>

本研究の対象である自律移動型 PMV は搭乗者の意図に依らず車両の挙動が決定する。そのため、車両の挙動を一次的評価にてネガティブで危険なものと評価した場合、自分の処理資源で対処しにくいと感じやすいことからストレスとして認知しやすく、コーピングのプロセスにおいても、刺激に対して直接影響を及ぼすことが困難となる。そのため、ストレスが長期化しやすく、不安などのネガティブな感情が生じやすいと考えられる。ゆえに、自律移動体に対する搭乗者の不安を低減させる施策を検討することには大きな意義がある。

### 2.2.2 不安と予測の関係性

自動車の運転手の不安生起には将来に対する予測が影響を及ぼすことが知られており<sup>[34]</sup>、認知的評価の評価項目としても予測のしやすさや予期の内容が含まれている<sup>[35][39]</sup>。このように不安の生起には人間の行う予測が関与していると考えられてきた。Jakob は著書『予測する心』<sup>[41]</sup>にて、『脳とは洗練された仮説テストメカニズムであり、常に外界を探索し、対象についての仮説を多数の様々な証拠源を利用して修正する。す

なわち、仮説と感覚入力との誤差の最小化に常に取り組んでいる』と論じており、これは脳の予測誤差最小化メカニズムとして知られている。同著で、『知覚推論は一次的に安定した解であって壊れやすい。この不安定さが人間の感じる不安の原因であり、逆に言えば、感覚入力に上手く適合する予測を行ってれば人間は安心である』と述べている。つまり、脳は断続的に周辺環境に対する予測を行い、その予測精度に応じて不安が生起すると論じられている。

以上の知見から、自律移動型 PMV の搭乗者の不安生起に対しても搭乗者の予測が影響を及ぼすことが考えられる。本研究では自律移動体が搭乗者に与える不安を議論することから、搭乗者の自律移動体に対する予測を考えることが重要である。自律移動体の挙動を決定するパラメータには位置、速度、姿勢角が存在する。そこで本研究における、搭乗者の自律移動体に対する予測を、車両の将来位置や速度、姿勢角のパラメータを周辺の環境情報や車両の過去の挙動から推定し、推定した将来の状態が引き起こす衝突などの結果を含めて見通すことと定めた。

### 2.2.3 不安と注意の関係性

人間が環境刺激を情報として処理する過程において、刺激を取捨選択する機能がある、すなわち注意を行っていることが知られている<sup>[42][43]</sup>。取捨選択した刺激を対象に認知的評価を行い、その結果として不安生起することがあるため、人間の注意は不安の生起に影響を及ぼすと考えられる。

また、不安などのネガティブな感情の生起によって注意が影響されることも先行研究で明らかになっている<sup>[44]</sup>。空間的な注意の研究で使われるドットプローブ課題 (dot-probe task) は、画面の右か左に提示されるターゲット刺激を検出したら、できるだけ早くボタンを推して反応する課題として知られている (図 2.2)。このターゲット刺激を提示する前に凝視点を挟んだ画面の右か左に手がかりが提示されることで、実験参加者の注意はそのプローブに自動的に引きつけられ、プローブの提示位置がターゲット刺激と異なる場合があるため、ターゲット刺激の検出時間が遅くなるという人間の注意の特性がある<sup>[45]</sup>。このプローブを映像刺激ではなく、感情 (主に不安) を喚起させる単語を提示した場合でも同様の検出時間遅れが観測された<sup>[46]</sup>。これは感情による注意バイアスと呼ばれ、感情の生起が人間の注意に影響を及ぼす根拠として知られている<sup>[47]</sup>。



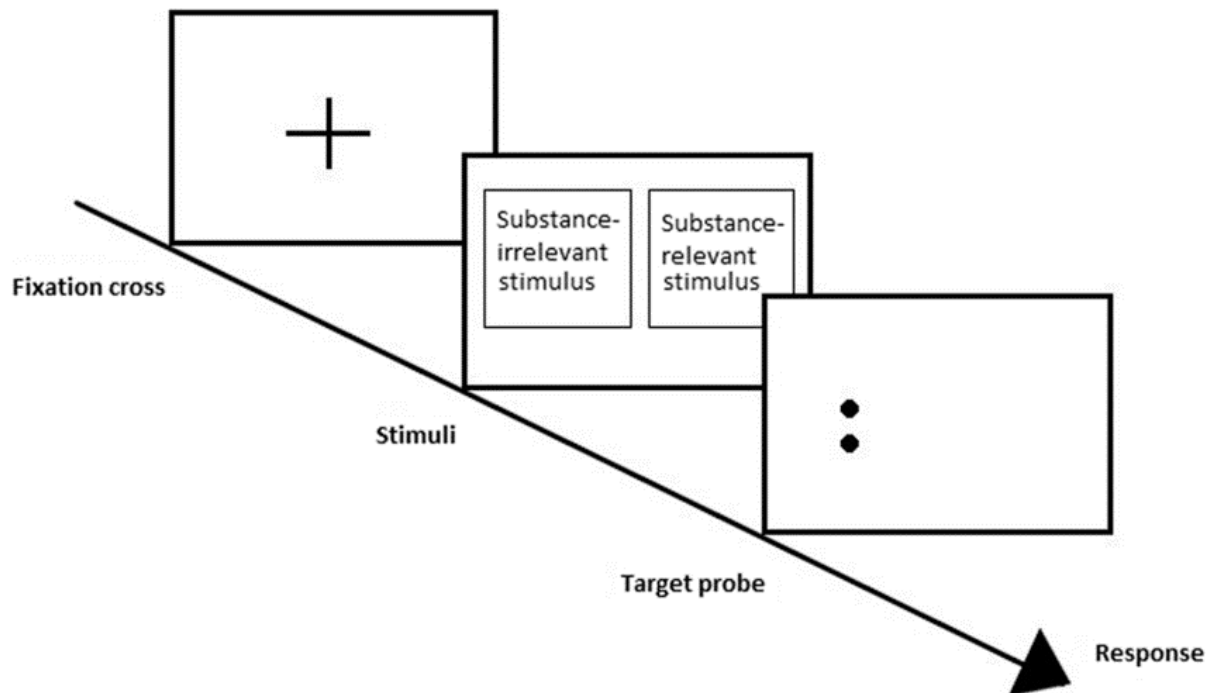


図 2.2 ドットプローブ課題 [45]

以上の知見から、不安と注意は図 2.3 のように相互に影響を及ぼしあうことが考えられる。

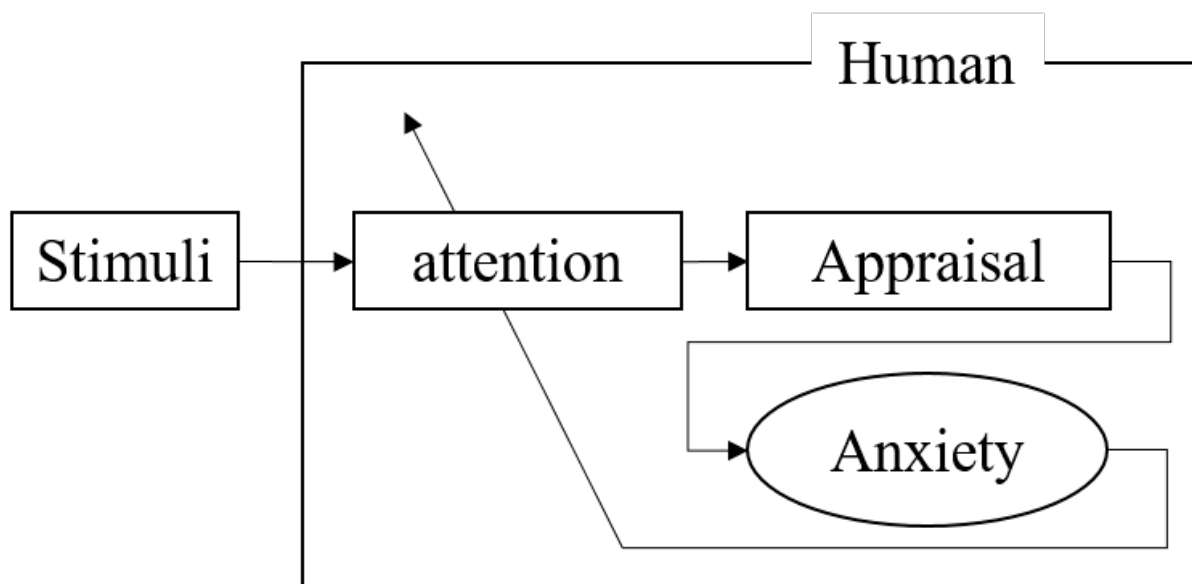


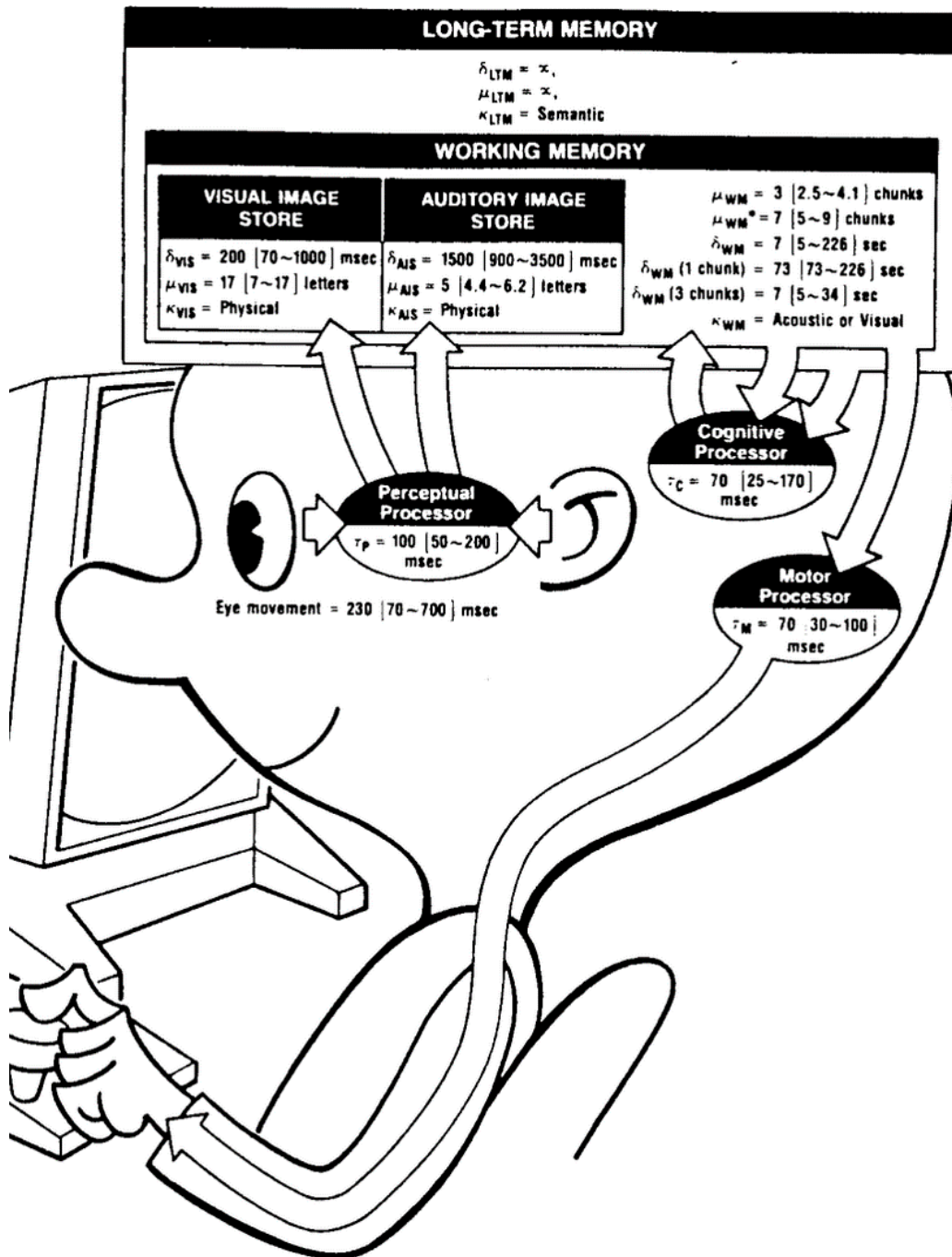
図 2.3 不安と注意の関係性

### 2.2.4 人間の情報処理モデル

搭乗者の不安生起を考えるうえで認知的評価が重要な役割を担っていることが分かっている。また、人間が認知的評価を行う前に、環境からの刺激をどのように情報処理するのも感情の生起を考えるうえで重要な要素である<sup>[46]</sup>。そこで、人間がどのように情報処理を行っていると考えられてきたのかをまとめた。本研究では不安がどのように生起するかという不安生起メカニズムを考えることが重要であり、ここで紹介する人間の情報処理モデルをベースに不安の生起メカニズムを設定する。

清水<sup>[48]</sup>は人間の情報処理に関して、感覚、知覚、認知の順に処理プロセスが行われると整理した。感覚とは外界の刺激によって感覚受容器が興奮する過程を指し、知覚は刺激に対して空間や時間の意味概念が付加され対象を知る過程、認知は人間が予め持っている情報に基づいて対象に関する情報を選択的に取り入れ、相互関係を規定したり、新しい情報を蓄積したりする行為の総称と定めている。また認知には知覚情報を元にした bottom up 的側面以外にも、知識や経験を元にした top down の側面があると述べている。

また最近では脳の二重貯蔵理論をベースにした MHP (Model Human Processor) と呼ばれる人間の情報処理モデルが研究されている<sup>[49] [50] [60]</sup>。MHP において人間は知覚した情報をワーキングメモリと呼ばれる短期記憶域に保存し、そこに格納された数秒前までの外界の情報と長期記憶に保存されている経験や知識を組み合わせで認知を行っている整理されている (図 2.4)。

図 2.4 Model Human Processor<sup>[49]</sup>

MHP を拡張したモデルとして、図 2.5 に示す QN-MHP (Queueing Network Model Human Processor) と呼ばれるモデルが存在する<sup>[50]</sup>。これは近年の MHP モデルやワーキングメモリに関する研究で多く採用されている Baddeley の三要素モデル<sup>[52]</sup> と共通して、音韻ループや視空間スケッチパッド、中央実行系の要素を含むモデルである。特に中央実行系(図 2.5 における C. Central executive)は切り替え (shifting), 更新 (updating), 抑制 (inhibition) の三つの機能があるとされており<sup>[53]</sup>, 注意資源を再配分する働きがあるとされている<sup>[54]</sup>。最近では QN-MHP のようにワーキングメモリを用いたモデルにおいて流動性知能が取り入れられて検討されている。また, QN-MHP モデルでも取り入れられている高次認知(図 2.5 における F. Complex cognitive function)では認知対象への解釈 (interpretation) や判断 (judgement) が行われており, 注意と同様に感情の生起によってバイアスがかかることが知られている<sup>[55]</sup>。特に, 判断には予測の機能も含まれており, 感情の生起に伴う判断へのバイアスに関する研究として, 人間がポジティブまたはネガティブな感情を抱いているかに応じて, ポジティブな将来を予測するかネガティブな将来を予測するかが変化することが知られている<sup>[56]</sup>。

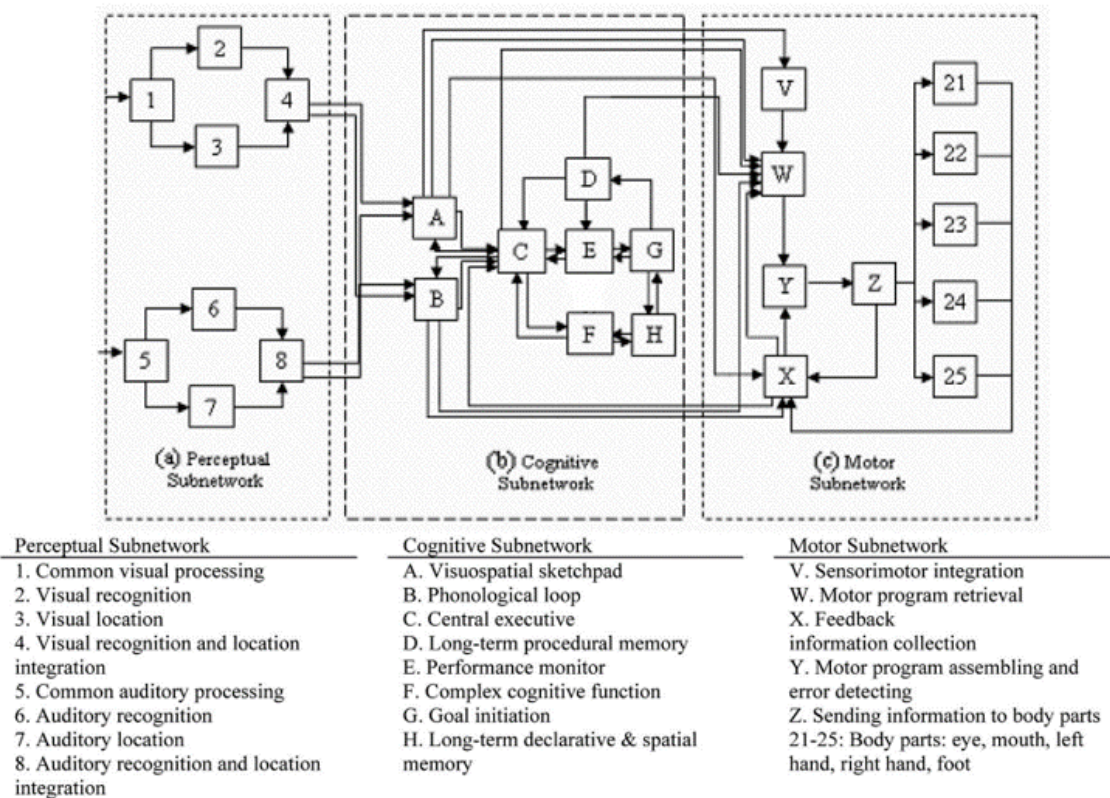


図 2.5 Queueing Network Model Human Processor<sup>[50]</sup>

## 2.3 本研究における不安生起メカニズムの設定

### 2.3.1 関連研究のまとめ

本研究で搭乗者の不安生起メカニズムを設定する上で、これまで紹介した関連研究から重要な要素を抽出した。その内容を以下に記す。

- 人間は外界の刺激を取捨選択した情報をワーキングメモリに格納する<sup>[43]</sup>。
- ワーキングメモリには現在の情報以外にも、過去の情報を短時間保持することができる<sup>[49]</sup>。
- 脳は断続的に環境の情報から将来に対する予測を行っている<sup>[41]</sup>。
- 人間は現在得た情報だけでなく、これまで蓄積または生成した情報も用いながら認知を行う<sup>[48]</sup>。
- 人間は認知的評価を行った結果として不安などの感情が生起する<sup>[35]</sup>。
- 特に不安などのネガティブな感情が生起した時、人間の注意にバイアスがかかる<sup>[46]</sup>。

### 2.3.2 不安生起メカニズム

これまで紹介した先行研究を基に、本研究の不安生起メカニズムを設定した（図 2.6）。搭乗者は環境刺激を注意により取捨選択し、ワーキングメモリに格納する。そして現在得た情報に過去情報と予測した将来情報を合わせて認知的評価を行う。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<sup>[34]</sup>と同様に「理想と現実の乖離」が発生した際に不安が生起しやすいと考えた。

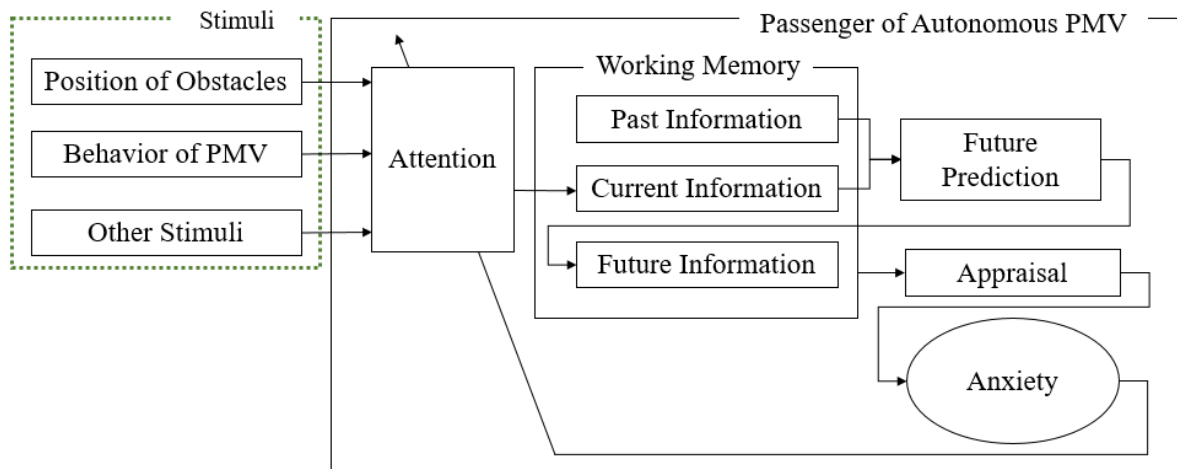


図 2.6 不安生起メカニズムの概要

## 2.4 本研究の仮説立案

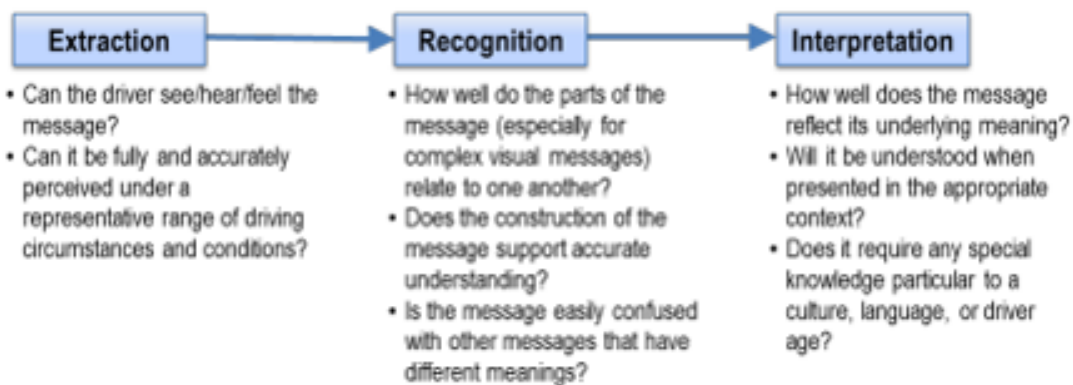
### 2.4.1 情報提示の先行研究

本研究では、搭乗者の不安を低減させるために、情報提示が搭乗者の不安生起に与える影響を明らかにしたい。そのため、まずは情報提示に関する先行研究を整理する。それを基に情報提示が設定した不安生起メカニズムに対して与える影響に関する仮説を立案する。

自律移動システムを用いた自動車のドライバに対する情報提示はすでに数多く研究されている<sup>[57][58]</sup>。自律移動技術を用いたモビリティから搭乗者に対する情報提示を行うという点に関しては本研究とも共通していることから、本研究の参考となる知見が得られる可能性が高い。近藤らの研究<sup>[57]</sup>では、レベル3の自動運転システムにて自動走行が不可能となった場合、ドライバに操作介入を依頼するTOR（Take Over Request）だけでは、安全が担保しきれないとして、ドライバに能動的な操作介入を促す情報提示を設計した。この研究では車両の1秒先、2秒先、3秒先の予測位置を提示することで（図2.7）、ドライバの不要な介入行動が減少するだけでなく、システム挙動が理解しやすくなったことで安心感も向上することが分かった。

図 2.7 先行研究の情報提示 1 <sup>[57]</sup>

また、自動車のドライバーに対する HMI の研究としては他にも Campbell らの研究がある。この研究ではドライバーに対する HMI を設計する上で考慮すべき要素を数多くの実験で得られた結果に基づいて整理している。Campbell らはモビリティの搭乗者に対する HMI を設計する際の評価軸を情報の抽出 (Extraction)、認知 (Recognition)、解釈 (Interpretation) の三つの観点から整理し (図 2.8)、実際に色や表示位置などを設定する上での指針となっている。情報提示を含む HMI のデザインを設計する際は、こうした指針の存在が重要となり、本研究では自律移動型 PMV の搭乗者に対する情報提示を設計する際の指針となる知見を得ることを目指す。

図 2.8 モビリティ搭乗者に対する HMI の評価軸 <sup>[59]</sup>

自律移動型 PMV の搭乗者に対する情報提示に関する研究は既に行われている。渡辺らの研究 <sup>[18]</sup> では搭乗者が車両の意図を理解できないことが不快につながると整理し、自律移動システムにより経路生成する際の車両の意図を情報提示によって搭乗者や周辺歩行者に伝達すること (図 2.9) で車両挙動が予測しやすくなり、搭乗者の快適性が向上したと述べている。この研究では車両の予測進路を示す情報を線として投影する情報提示を用いており (図 2.10)、手元スクリーンに情報を提示するよりも、地面に直接投



影する方が車両挙動が予測しやすく、より快適だったことが分かっている。しかしながら、情報提示がどのようなメカニズムで搭乗者に影響を与えているかまでは整理されておらず、情報提示を設計する際には更なる知見が必要となる。

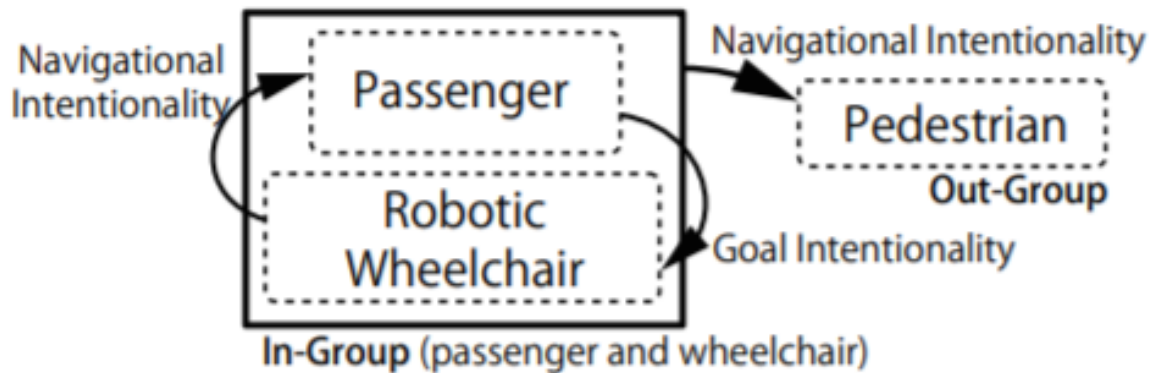


図 2.9 自律移動型 PMV の意図伝達<sup>[18]</sup>

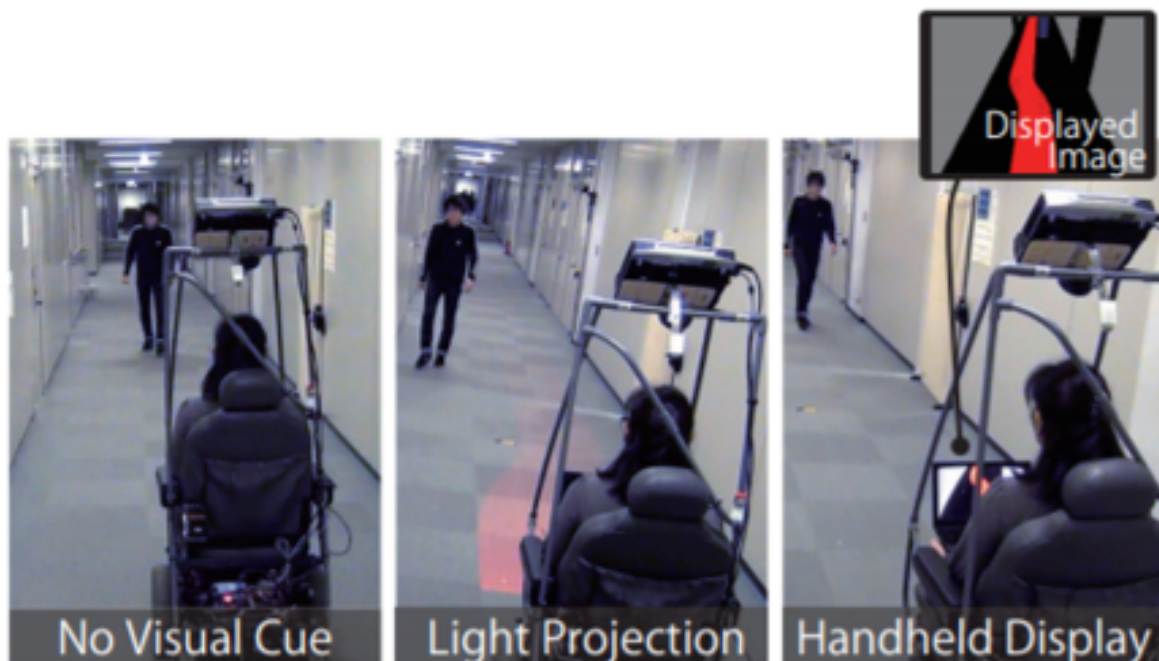


図 2.10 先行研究の情報提示 2<sup>[18]</sup>

上述の先行研究から、情報提示を行うことで自律移動体の搭乗者は車両挙動が予測しやすくなることがわかっており、予測のしやすさの向上は不安低減に繋がることから<sup>[34]</sup>、情報提示を行うことは搭乗者の不安低減に繋がることが示唆される。



### 2.4.2 情報提示が不安生起メカニズムに与える影響

2.3.2 で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がワーキングメモリに格納された場合、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、2.2.1 で説明した認知的評価の一次的評価において、車両の挙動に対してネガティブな評価を行う可能性が低下する。すなわち不安の発生頻度が低下すると考えられる。また、既に不安を感じている状況においては、不安を解消してくれる情報に対して注意を向けやすくなり、提示した情報がワーキングメモリに格納されることによって再評価のためのプロセスが発生し、車両に対するネガティブな評価が改善され、不安が低減することも考えられる。

### 2.4.3 提示する情報の種類に関する仮説

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、これら三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という仮説を設定する。渡辺らの先行研究<sup>[18]</sup>では、将来の車両の「位置」を線として情報提示することで搭乗者に与える影響を確認しており、搭乗者の車両挙動に対する予測しやすさが向上することは明らかになっている。

### 2.4.4 情報の提示するタイミングに関する仮説

図 2.4 が示すように、人間の Working Memory に格納できる視覚情報は長くとも 1 秒である。このことから、情報提示で前もって車両の挙動を提示する際に、不安低減に有効なタイミングが存在するという仮説を設定する。本研究対象では特に車両の挙動変化が激しく、将来挙動が予測しにくい時には 1 秒以下の将来情報しか処理できないと考えた。また、先行研究<sup>[60]</sup>では MHP や二重過程理論 (Dual Process Theory)<sup>[61]</sup>に基づくと、情報提示では提示タイミングに応じて人間の情報処理のされ方が異なることが述べられており、本研究にて考慮すべき人間の特性である。笹山らの先行研究<sup>[37]</sup>では、自動運転車椅子の搭乗者の不安を緩和するためには適切なタイミングで挙動を予告することが重要であると述べている。

## 2.5 第2章のまとめ

本章では、自律移動体搭乗者の不安発生メカニズムを先行研究を基に設定した。中でも重要な項目を以下に示す。

- 搭乗者は環境刺激を注意により取捨選択し、ワーキングメモリに格納する
- ワーキングメモリに格納した情報を元に将来の情報を予測する
- 現在得た情報に過去情報と予測した将来情報を合わせて認知的評価を行う
- 認知的評価の結果、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

設定した不安発生メカニズムに基づき、情報提示は予測を補佐する効果と再評価プロセスによって生じた不安を解消させる効果があると考え、自律移動体の搭乗者のための情報提示に関する以下の2つの仮説を立てた。

- 仮説1  
車両の将来挙動を予測しやすくする情報として、車両挙動を決定する「位置」「速度」「姿勢角」を示す将来の情報を提示すれば不安が低減する
- 仮説2  
予測しにくい走行シーンでは直近の情報を提示する方が不安は低減する

次章では、この二つの仮説を検証する実験の内容について述べる。

## 第 3 章

# 不安生起特性の把握実験

## 3.1 はじめに

本章では、2章で立てた仮説を実験で検証し、情報提示に対する自律移動型 PMV の搭乗者の不安生起特性を把握する。

## 3.2 実験概要

### 3.2.1 実験目的

本実験の目的は、2章で立案した以下の仮説を検証を行い、自律移動型 PMV の搭乗者の不安生起特性を把握することである。

- 仮説 1  
車両の将来挙動を予測しやすくする情報として、車両挙動を決定する「位置」「速度」「姿勢角」を示す将来の情報を提示すれば、不安が低減する
- 仮説 2  
予測しにくい走行シーンでは、直近の情報を提示する方が不安は低減する

本実験は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。

### 3.2.2 実験方法

実験参加者は、ドライビングシミュレータ（DS）を用いた仮想環境においての自律移動を体験する。シミュレータ上で同一の歩行者群の中を走行する 2 つの走行シーンに対して、複数の情報提示条件で走行を行う。

本実験では、搭乗者の不安生起特性のうち、予測と不安の関係性を把握するために実験参加者の主観評価を採取し、注意と不安の関係性を把握するために実験参加者の視行動を採取する。

### 3.2.3 実験参加者

本実験に参加するのは、平均年齢は  $23.0 \pm 1.1$  歳の成人男女 9 名である。なお、実験参加者には実験内容を説明し、実験実施前にインフォームド・コンセントを得ている。

## 3.3 実験環境

### 3.3.1 実験環境の選定

実験環境は、実際に社会導入される際の実環境を想定して選定することが重要である。本研究の対象である自律移動型 PMV は、歩行空間を移動し、情報提示方法は先行研究<sup>[18]</sup>のように地面への照射や、Mixed Reality(MR)グラスを用いた投影が想定される。

実際の歩行空間で実験を行う場合、歩行者の移動経路を統制しにくく、実験条件を固定することが困難であり、衝突事故が発生してしまう可能性もある。そのため、本研究では DS 環境下で実験を行うこととした。

また、情報提示方法に関しては、予備実験で MR グラスの一つである Hololens 2（図 3.1）を用いた情報投影を検討した。Hololens 2 の垂直方向の視野角は  $29^{\circ}$  である。一方で、人間の安定注視野と呼ばれる、探索動作なしで情報需要が可能な範囲は上方向に  $30^{\circ}$ 、下方向に  $40^{\circ}$  である<sup>[64]</sup>。予備実験の結果、MR グラスの投影可能な視野角が人間の安定注視野に対して不足していることから、満足した情報提示が行えないことが明らかになった。そのため、本研究では MR グラスの仕様によらず、人間の不安定特性から、情報提示の要求機能を探りたいため、本実験では MR グラスを用いず、DS のディスプレイに直接情報を投影することにした。なお、MR グラスの視野角の問題は、情報提示を実際に設計する上では検討しなければならない重要な制約条件となる。上記の予備実験の詳細は付録 A に記載する。



図 3.1 Hololens 2<sup>[62]</sup>

### 3.3.2 実験装置

まず本実験で使用する DS の説明を行う．本実験で用いる DS は Gwak らの研究<sup>[63]</sup> で用いられたものと同一であり，その全体像を図 3.2 に示し，実験の様子を図 3.3 に示す．これらの図が示す通り，DS には実験参加者が搭乗するセニアカー（ET4D）を中心に 6 枚の大型スクリーンが配置されている．セニアカーとスクリーンはヨー方向に回転可能な台座の上に固定されているが，本実験では台座のヨー角は固定した状態で実験を行った．この DS は水平方向の視野角が  $180^{\circ}$ ，垂直方向の視野角が  $65^{\circ}$  の映像を投影し，投影する映像は Unity を用いて作成した．



図 3.2 ドライビングシミュレータの全体像<sup>[63]</sup>



図 3.3 実験の様子

視行動の採取にはトビー・テクノロジー社<sup>[65]</sup>の Tobbi Pro 2 (図 3.4) を用いる。Tobbi Pro 2 は内カメラによって装着者の眼球運動を計測しており、実験参加者の注視点を採取することができる。図 3.5 の赤丸は Tobbi Pro 2 で採取した注視点を指す。しかしながら、本実験では注視点の計測に失敗した被験者が 3 名存在した。失敗要因としては通信の失敗以外にも、細目や乱視などの個人特性により、眼球運動を計測しづらかったことが考えられる。

また実験参加者のコメントについては、Tobbi Pro 2 の録音機能を用いて記録した。



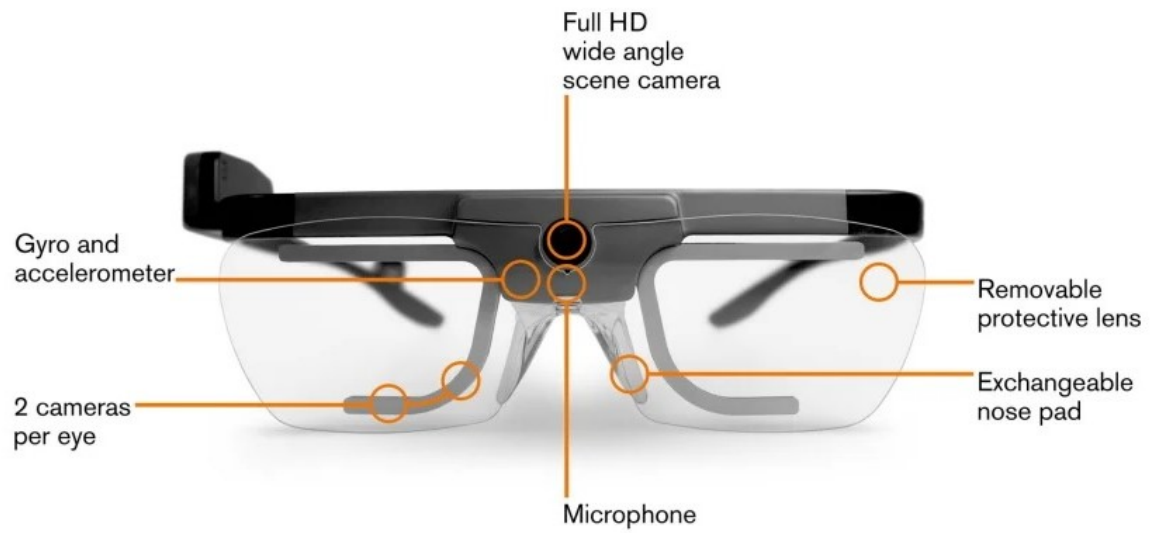
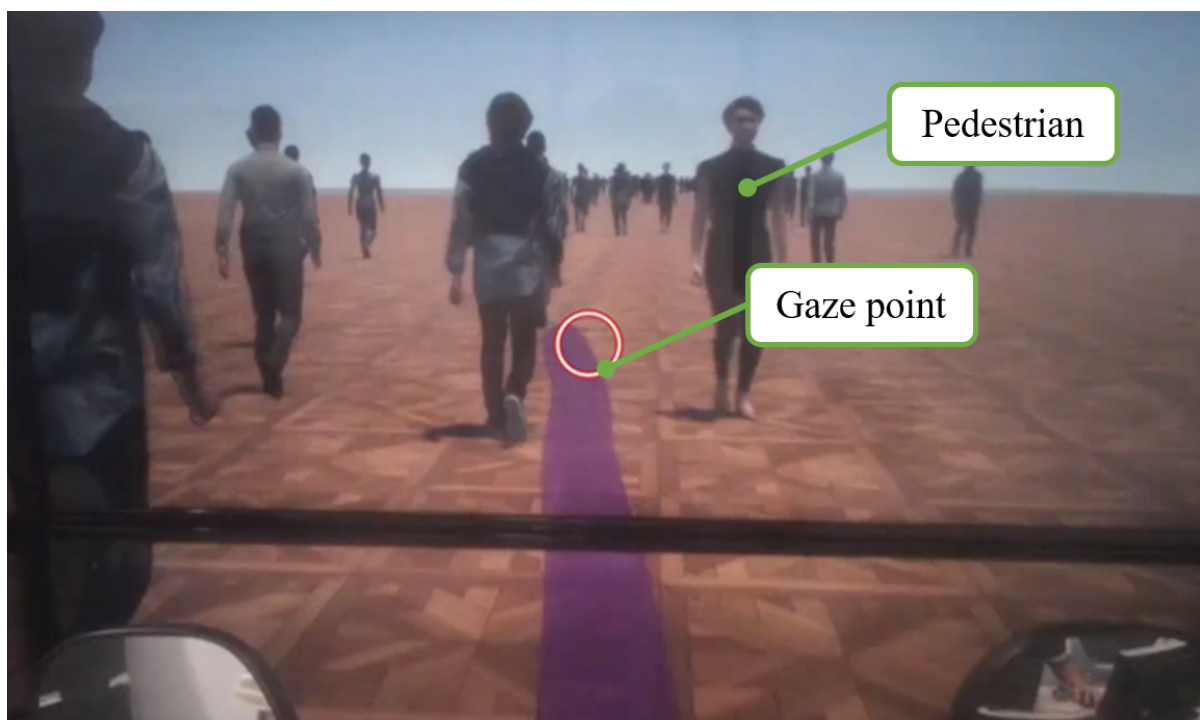
図 3.4 Tobii Pro 2 <sup>[65]</sup>

図 3.5 Tobii の注視点計測



## 3.4 実験条件

### 3.4.1 走行シーン

本研究における走行シーンは MatLab のシミュレーション環境上で作成した。歩行者の移動は SFM(Social Force Model)<sup>[67]</sup> と呼ばれる、目的地までの引力と障害物からの斥力から算出される移動モデル（図 3.6）を元に算出された。歩行者の目標速度は平均的な歩行速度である 1 m/s に設定している。本実験で設定した道路環境は、小型 PMV が利用されるショッピングモールや空港の環境を想定し、横幅 10 m の一本道とした。この道路環境に対して 0.1 人/m<sup>2</sup> の密度で歩行者をランダムに初期配置し、そのうち半数を PMV と同じ進行方向、残りの半数を PMV とは反対の進行方向となるように目標地点を設定した。

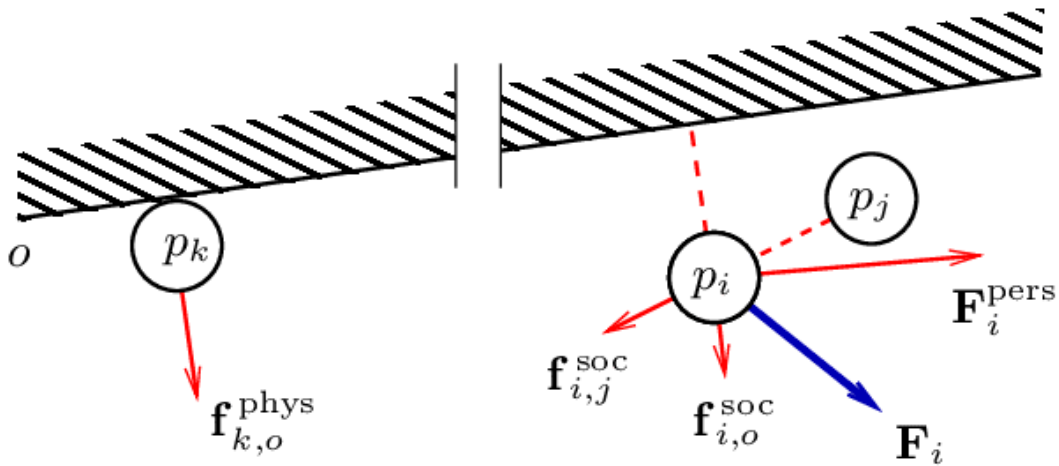


図 3.6 Social Force Model<sup>[66]</sup>

上記の条件で生成された歩行者群に対して、仮説 2 で将来の車両挙動が予測しにくい走行シーンと予測しやすい走行シーンを比較するために二種類の走行条件を用意した。

一つ目は周辺歩行者密度が高い経路を選択し、歩行者回避のために蛇行を頻繁に行う ( $0.17\text{rad/s}^2$ ) 走行条件である。この走行条件は車両の挙動変化が比較的激しいことから将来挙動の予測がしにくい走行シーンとして設定した。この走行シーンを走行シーン A と呼ぶ（図 3.7）。

二つ目は周辺歩行者密度が低い経路を選択し、車両の角速度変化が小さい ( $0.034\text{rad/s}^2$ ) 走行条件である。この走行条件は車両の挙動変化が緩やかなことから将来挙動の予測がしやすい走行シーンとして設定した、この走行シーンを走行シーン B と呼ぶ（図 3.8）。



図 3.7 走行シーン A



図 3.8 走行シーン B

走行シーンAと走行シーンBにおいて車両は0.7 m/sの速度で自律移動しており、走行シーンAはBと比較して車両の将来挙動が予測しにくいことから、搭乗者の不安が生じやすい走行シーンであることが考えられる。実際に走行シーンAと走行シーンBでどちらが搭乗者の不安を生起させたかについては、結果の節で述べる。

### 3.4.2 情報提示の種類

仮説1では、車両の将来位置、速度、姿勢角を提示することで不安が低減することを述べた。この3つのパラメータを搭乗者に提示する手法として本実験では以下の3種類の情報提示手法を設定した。

経路照射型（PATH）は将来の位置情報を用いて地面に線を描写する（図3.9(a)）。この情報提示手法は先行研究<sup>[18]</sup>で用いられた手法であり、搭乗者の予測しやすさが向上することは既に知られている。本研究では何が搭乗者の不安の低減にも寄与するのか、また提示したときの搭乗者の視行動はどうなっているのかを分析する。

Personal Space 型（PS）は将来の速度情報を用いて地面にパーソナルスペースを模した楕円を描写する（図3.9(b)）。パーソナルスペース<sup>[68]</sup>とは他者の侵入を不快に感じる領域のことであり、移動時には速度ベクトルの向きに対して楕円状に伸びていき、その縮尺は速度の大きさに依存することが知られている。

先行車追従型（FOLLOW）は将来の車両の姿勢角と位置を元に仮想的な先行車を前方に投影する（図3.9(c)）。将来の車両を提示することで、その仮想的な先行車を追従する体験となる。歩行者が歩行空間を移動する際、同じ方向に向かう隣接歩行者に追従することで快適に歩行する習性があると先行研究<sup>[69]</sup>では述べられており、PMVにおいても同様の効果から不安が低減すると考えた。

### 3.4.3 情報提示のタイミング

仮説2では、予測しにくい走行シーンでは直近の情報を提示する方が不安は低減することを述べた。この仮説を検証するために、各情報提示に対して、1秒先を提示する条件と3秒先の情報を提示する条件の二つを用意する。視覚刺激に対する短期記憶は1秒以内であることから<sup>[49][70]</sup>、3秒先の情報提示は1秒先の情報提示と比較して、提示した情報を記憶に保持しにくく、特に車両挙動が煩雑で予測しにくい走行シーンでは情報提示の不安低減効果が弱くなると考えた。

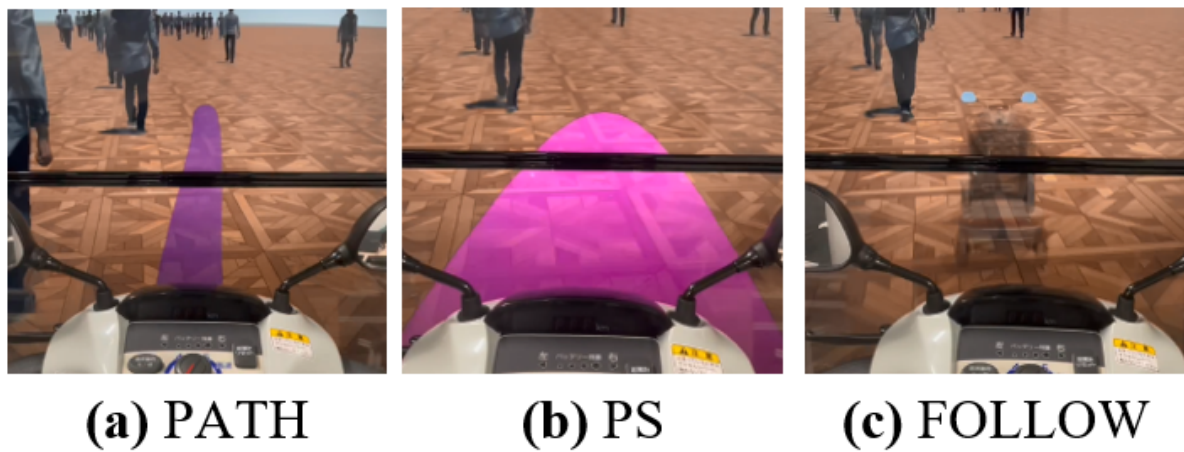


図 3.9 情報提示の種類

#### 3.4.4 実験条件のまとめ

走行シーン A と走行シーン B それぞれに対して，PATH, PS, FOLLOW の三つの情報提示と情報提示を行わない条件，情報提示を行う場合は 1 秒先を提示する場合と 3 秒先を提示する場合の二条件を用意した．各走行シーンにおける実験条件を表 3.1 に示す．

表 3.1 実験条件（特性把握実験）

条件 ID	情報提示の種類	提示内容
None	n/a	n/a
Pa01	PATH	1 秒先
Pa03	PATH	3 秒先
PS01	PS	1 秒先
PS03	PS	3 秒先
Fo01	FOLLOW	1 秒先
Fo03	FOLLOW	3 秒先

## 3.5 計測項目

### 3.5.1 主観評価

本実験では搭乗者の予測と不安の関係性を把握するために各試行が終了するごとに実験参加者の主観評価を聴取した。搭乗者の主観評価は7段階のリッカート尺度を用いてアンケートで取得した。またアンケート以外にも自由回答のコメントも聴取した。アンケート内容を表3.2に示す。

表 3.2 アンケート内容（特性把握実験）

質問項目	-3	+3
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来挙動に対する不安を感じたか	安心	不安

### 3.5.2 視行動

本実験で視行動を分析する目的は、搭乗者の不安と注意の関係性を把握することであり、不安生起特性をより深く理解することにつながる。そのため、搭乗者の注視点の変化から注意を向けた対象を特定したい。ここでAOI（Area of Interest）の考え方を導入した。AOIとは注視点が集中する特定の領域のことを指し<sup>[71]</sup>、様々な研究において視行動から人間の注意に関する分析を行う際に取り入れられてきた概念である<sup>[72][73][74][75]</sup>。AOIのイメージ図を図3.10に示す。この図は本実験で視行動を分析した区間において注視点が集中した4つの領域であり、xは接近歩行者、yは遠方歩行者群、hは地平線、gは提示情報（情報提示なしの条件下では地面）を指す。分析対象区間は不安が生起されやすい走行シーンAの中でも特に不安が生起されやすかった5秒間とした。この分析対象区間は予備実験の結果から選定している。予備実験の内容は付録Bに記載する。



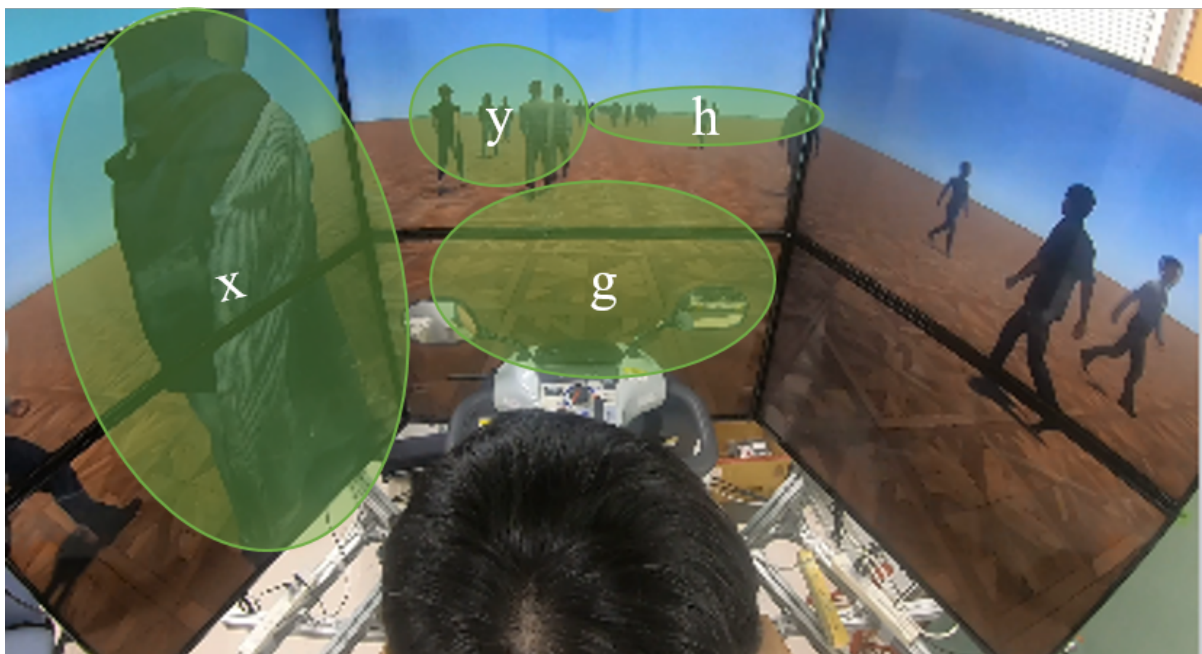


図 3.10 AOI のイメージ図

本研究で不安生起特性を明らかにするうえで、不安が生起した際の視行動の変化、そして視行動の変化が不安にもたらす影響を分析したい。そのため、搭乗者がどの AOI に注意を向けていたかだけでなく、AOI 間をどのように遷移したかというダイナミクスにも注目する必要がある。これらを分析する指標として停留割合のエントロピー（Stationary Entropy）と遷移確率のエントロピー（Transition Entropy）を用いた。この二種類のエントロピーは Krejtz ら<sup>[76]</sup> が情報熱力学における Shannon's Entropy<sup>[77]</sup> を視行動分析に応用した指標であり、自動車の運転手の視行動分析の研究にも用いられている指標である<sup>[78]</sup>。

停留割合のエントロピー（ $H_s$ ）は各 AOI に注視点が集まった割合、すなわち注視割合（ $\pi$ ）に対する Shannon's Entropy であり、AOI に対する注視割合が均等であるほど値が大きくなる。逆に特定の AOI に対する注視割合が大きいほど値は小さくなる。具体的な定義を式 3.1 に示す。なお、 $n$  は分析区間内の AOI の合計数を表し、 $i$  や  $j$  はある一つの AOI を指す。

遷移確率のエントロピーは各 AOI から他の AOI に遷移する確率に対する Shannon's Entropy であり、視行動が探索的である、すなわちサッケード頻度が高いほど、値は大きくなる。具体的な定義を式 3.2 に示す。なお、 $p_{ij}$  は AOI  $i$  にあった注視点が AOI  $j$  に遷移する確率を表す。

$$H_s = \sum_{i=1}^n \pi_i \ln \pi_i \quad (3.1)$$

$$H_t = \sum_{i=1}^n \pi_i \sum_{j=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, i \neq j \quad (3.2)$$

## 3.6 実験手順

まず初めに実験参加者に実験内容を説明し、インフォームド・コンセントを得た。その後、実験参加者は視線計測器を装着し、キャリブレーションを実施した。そして、DS のセニアカーに搭乗した実験参加者は 30 秒間の自律移動走行を異なる条件下で 14 回体験した。各体験後に主観評価と自由回答のコメントを口頭で聴取した。走行シーンに対する馴れの影響を低減させるため、走行シーン A と B は交互に行い、主観評価のアンケート回答時間を含め 1 分間のインターバルを設けた。

また、セニアカー搭乗時と、各情報提示条件を行う前に実験参加者への教示を行った。教示の内容は以下の通りである。

- セニアカー搭乗時（イントロ）

「今乗っている電動車いすがショッピングモールなど周辺歩行者がいる環境で自律移動するシーンを搭乗者として疑似体験してもらいます。そのモビリティは周辺の歩行者を認識し、その結果システムが算出した経路にしたがって自動で走行します。」
- PATH の情報提示を行う前

「これから体験してもらう情報提示は、システムが算出した将来位置を線として地面に照射します。つまり、その照射した線を辿ることになります。」
- PS の情報提示を行う前

「これから体験してもらう情報提示は、システムが算出した将来速度に応じて地面に楕円を照射します。楕円の伸びている方向が車両の将来速度の向きで、速度が大きいほど楕円は長軸方向に伸びます。」
- FOLLOW の情報提示を行う前

「これから体験してもらう情報提示は、システムが算出した将来位置と姿勢角を元に前方に仮想的な車両を投影します。」

## 3.7 実験結果

### 3.7.1 情報提示の種類に関する結果と考察

車両の将来挙動が予測しにくい走行シーン A の不安評価の結果を図 3.11 に、車両の将来挙動が予測しやすい走行シーン B の不安評価を図 3.12 に示す。図中のアスタリスクは情報提示なしの None と比較した際の有意差が存在することを示す。有意差の検定にはウィルコクソンの符号順位検定を用いた。

まず、図 3.11 と図 3.12 の None の結果を比較すると、車両の挙動変化が激しく、将来挙動の予測がしにくい走行シーン A の方が、搭乗者は不安を感じやすいということが分かった。この結果は走行シーンを作成した際の予測と一致した。

搭乗者が不安を感じやすかった走行シーン A において、PATH と FOLLOW の情報提示を行うことで搭乗者の不安は有意に低下した。仮説 1 では車両の将来位置、速度、姿勢角が予測しやすくなると搭乗者の不安は低減すると考えたため、取得した主観評価で



予測に関する項目を説明変数、不安評価を目的変数とした重回帰分析を行ったところ、図 3.13 に示すように、説明変数として有意差 ( $p<0.05$ ) が確認できたのは位置と姿勢角のみで、速度に関しては有意な差が確認できなかった。

以上より、車両の将来位置と姿勢角が予測しやすくなると不安は低減することが分かった。実験参加者から「位置情報から速度は推定しやすいけど逆は難しい」という自由回答のコメントを得ていることから、車両の将来位置に関する情報を提示するのであれば、将来速度に関する情報を提示する意味合いが薄れることが考えられる。一方で、今回の走行シーンでは急停止や急発進など、急激な速度変化を伴わなかったことや、走行シーン B において走行条件 PS01 に有意差が生じたことから、速度情報を提示する意味がないと断言することは難しい。しかしながら、車両の将来位置と姿勢角を予測しやすくする情報を提示することがより不安低減に寄与することは明らかになった。

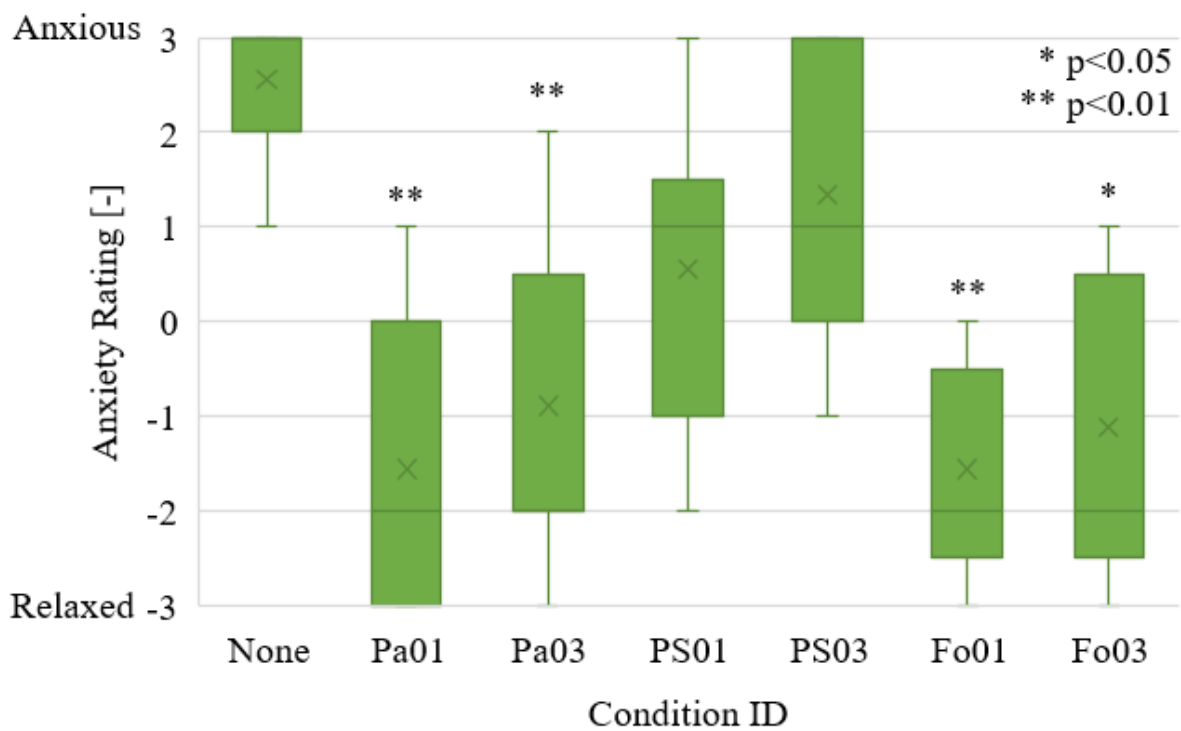


図 3.11 走行シーン A の不安評価

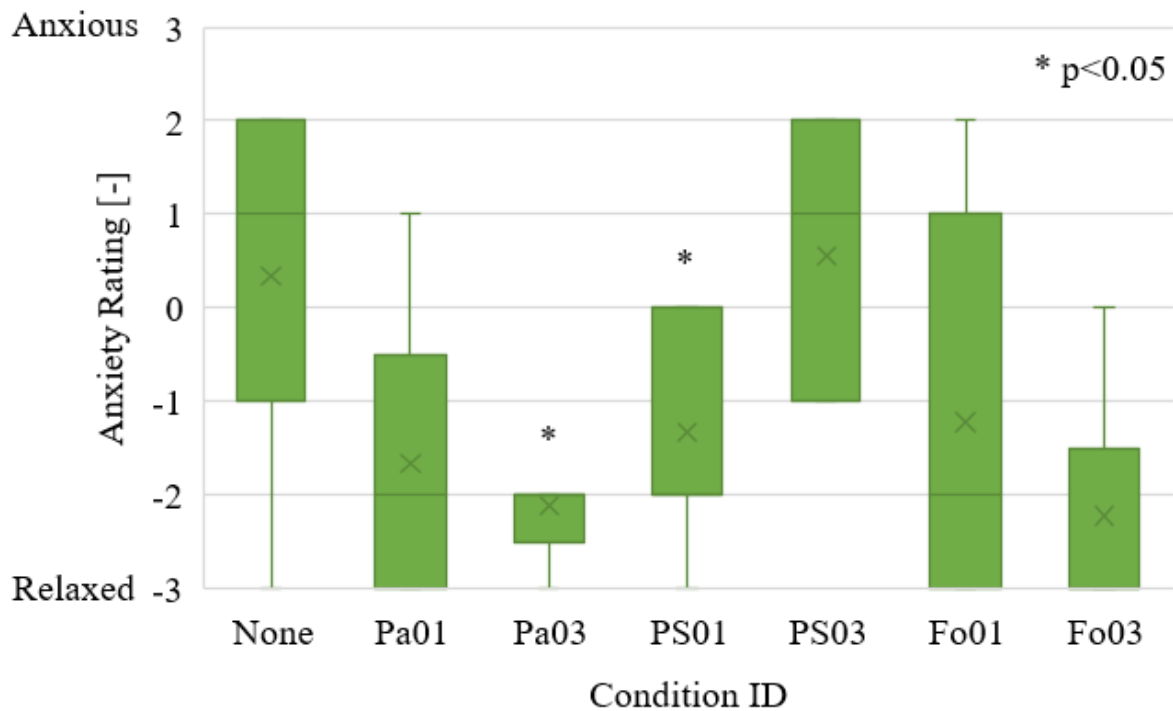


図 3.12 走行シーン B の不安評価

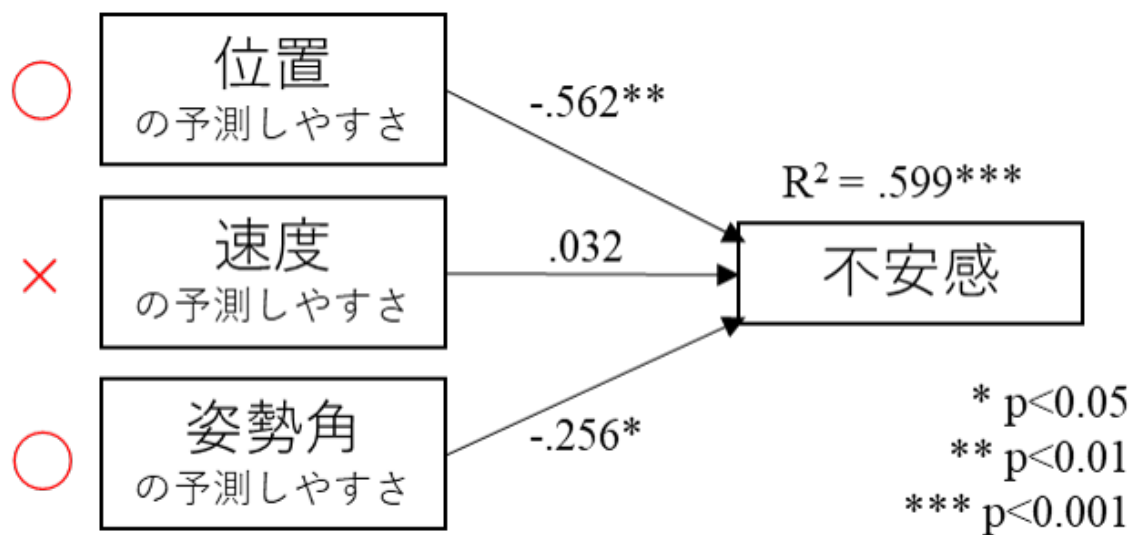


図 3.13 予測と不安の重回帰分析

### 3.7.2 情報提示のタイミングに関する結果と考察

予測しにくい走行シーンでは直近の情報を提示する方が不安は低減するという仮説2を検証するため、図 3.11 と図 3.12 で 1 秒先の情報を提示した条件と 3 秒先を提示した条件を比較する。図 3.11 において、全ての情報提示条件に対して 1 秒先を提示した条件の方がより不安を低減させた。これは仮説を支持する結果となった。

一方、図 3.12 では PATH と FOLLOW の情報提示条件において 3 秒先の情報を提示した方が不安を低減させた。これは走行シーン B が車両挙動の変化が比較的少ないシーンであったことから、直近の挙動は情報提示がなくとも予測しやすかったため、より将来の情報を提示した方が不安低減に寄与したと考えられる。

また、PS では変わらず 1 秒先の情報を提示した方が不安は低減した。実験参加者からは「3 秒先の速度情報を提示されても現在の車両挙動と結びつかず、理解するのが困難だった」というコメントを得ていることから、走行条件 PS03 の情報提示条件は走行シーンに依らず不安低減に寄与しないと考えられる。

以上の結果から、走行シーンの特徴に対して不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なることが明らかになった。

特に走行条件 Pa03 の情報提示条件を走行シーン A と B で比較すると、走行シーン B ではほとんどの実験参加者の不安を低減させることに成功したのに対して、走行シーン A では不安が低減した人とそうでない人とより大きくばらついていることが分かる。走行シーン A で走行条件 Pa03 を体験した後の実験参加者から「提示された線が歩行者と重なって表示されると衝突するのかと不安になる」というコメントを聴取した。実際に走行シーン A は B よりも歩行者密度の高い経路を走行しており、走行条件 Pa03 は Pa01 よりも線として地面に照射する経路が長いことから、図 3.14 のように提示した情報と現在の歩行者が重複して表示される時が存在した。このように衝突が予想されるような情報が提示された際に、先ほどのコメントと同様に、かえって不安が発生したという意見を複数聴取した。ネガティブな将来を予測することにより、搭乗者がかえって不安になることは、先行研究<sup>[34]</sup>でも明らかになっており、予期不安と呼ばれている。実際にこのシーンで不安を感じた人、具体的に値が 1 以上の不安評価をした人は、この重複が発生した際に照射経路と重複した対象の歩行者との間で頻繁に注視点を切り替える視行動を行っていた。このサッカードが発生する確率は 83.3% (SD 23.6) であり、不安を感じなかった人は 26.7% (SD 43.5) であったことから、不安を感じた人ほどこの重複を気にしていたと考えられる。



図 3.14 歩行者と PATH の重複

### 3.7.3 視行動分析に関する結果と考察

本項では、前項の議論と同様に視行動を分析した結果を示し、搭乗者の不安生起特性を更に解明する。

まず、不安を感じた度合いに応じて視行動がどのように異なるのかを調べた。図 3.15 は情報提示なし条件における停留割合のエントロピーを示し、図 3.16 は情報提示なし条件における遷移確率のエントロピーを示す。不安評価高群は走行シーン A において 3 点の不安評価を行った実験参加者であり、低群は同シーンにおいて 1 または 2 点の評価をした実験参加者である。この結果から走行シーン A にてより顕著に不安を感じた人はそうでない人と比べ、停留割合のエントロピーは変わらなかった一方で、遷移確率のエントロピーは増大した。すなわち、不安を感じた人は不安の解消に繋がる情報を得るためにより探索的な視行動を行うことが確認された。

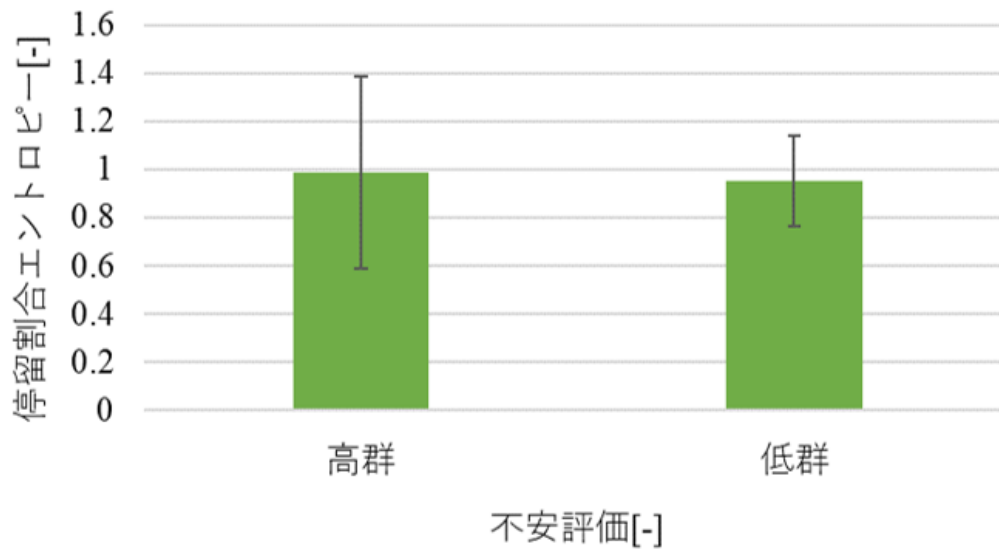


図 3.15 情報提示なし条件における AOI の停留割合エントロピー

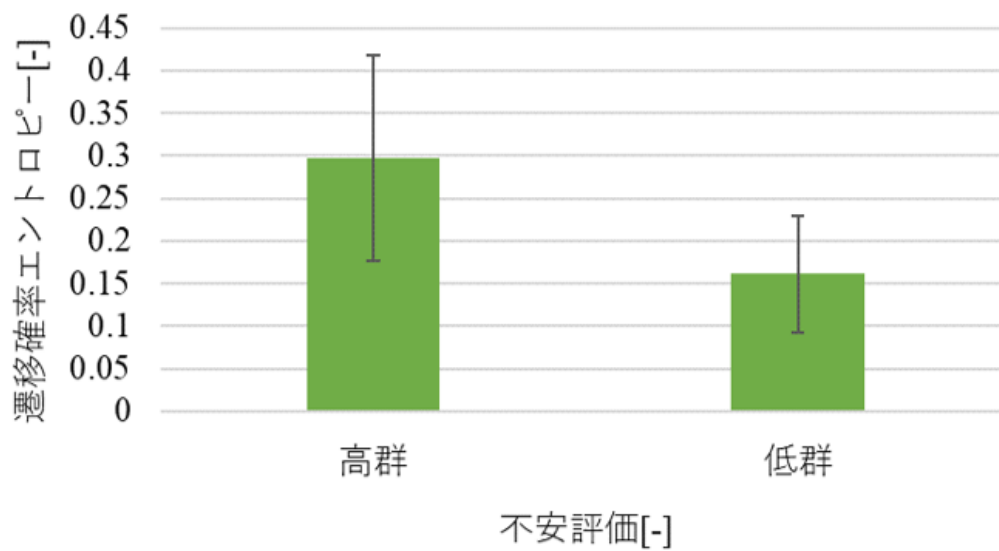


図 3.16 情報提示なし条件における AOI の遷移確率エントロピー

情報提示を行った場合、この探索的な視行動がどのように変化するかを図 3.17 に示す。情報提示を行わない走行条件に対して、情報提示を行った条件で遷移確率エントロピーが低下した。これは情報提示によって不安を解消させ得る情報が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。

図 3.18 は各走行条件における AOI に対する注視割合を示す。情報提示を行った条件では地面に対する注視割合が高まったことから、遷移確率エントロピーの低下は地面に提示された情報に対する注視点が集中した結果であることがわかる。またこの注視割合の偏りから停留割合のエントロピーも情報提示を行った条件では行わなかった条件と比較して低下することが分かった（図 3.19）。

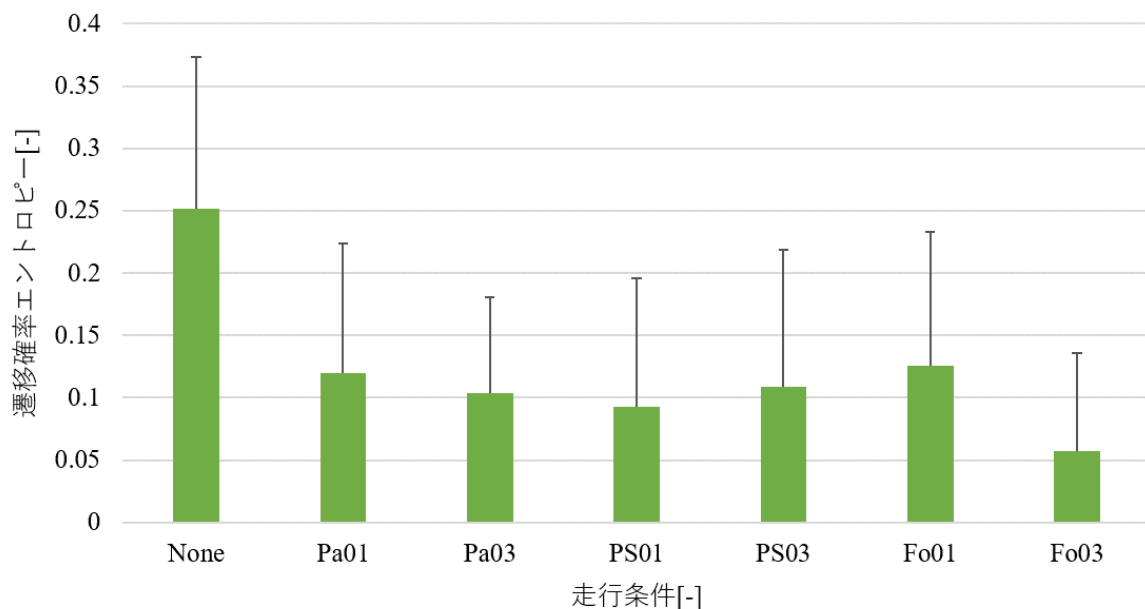


図 3.17 各走行条件における AOI の遷移確率エントロピー

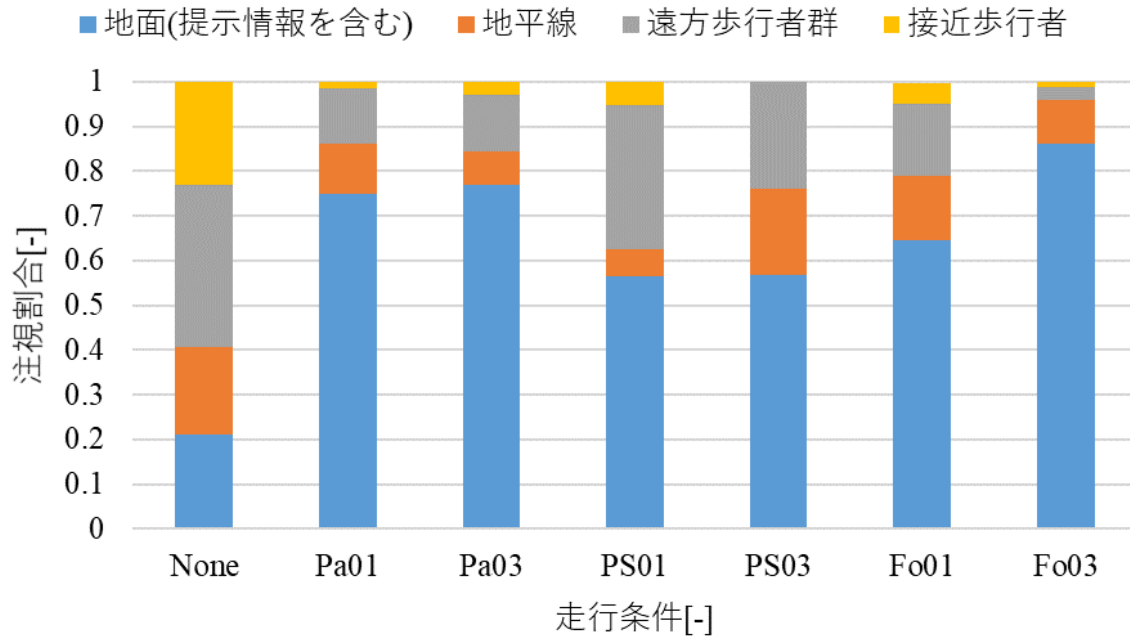


図 3.18 各走行条件における AOI に対する注視割合

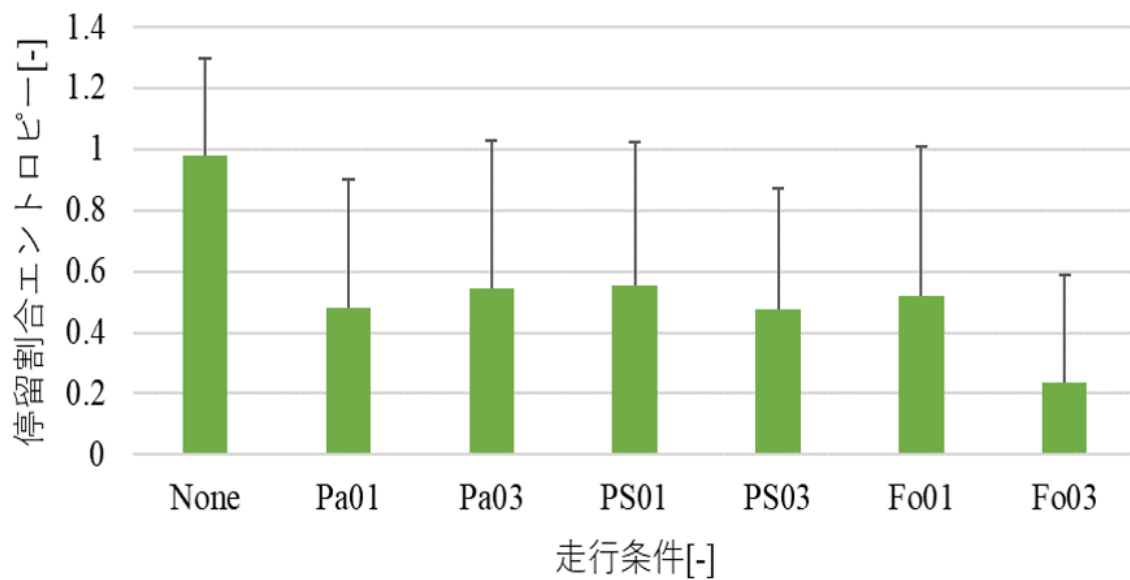


図 3.19 各走行条件における AOI の停留割合エントロピー



また、図 3.18 では情報提示により、接近歩行者に対する注視割合が低下していることが分かる。この結果より、情報提示には搭乗者の予測を補佐する機能以外にも、不安発生対象となり得る接近歩行者から注意を逸らす機能を持つことが分かった。よって、情報提示には車両の将来挙動がわからないことに起因する不安を低減させる効果以外にも、周辺歩行者の接近に伴う不安も低減させる効果があると示唆される。

## 3.8 第3章まとめ

本章では搭乗者の不安生起特性を把握するために DS を使った実験を行い、実験参加者の主観評価や視行動の分析を通して以下のような不安生起特性を知見として得たことを述べた。

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、自律移動体の将来挙動に対する不安が低減する
2. 情報提示により搭乗者の予測は補佐され、不安は低減されるが、走行シーンに応じて不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なる。
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内容を予期させてしまった場合、予期不安が発生し、不安はかえって増大することがある。
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ことが低下し、注視点が提示された情報に集まることで、周辺歩行者の接近に伴う不安も低減させる可能性がある。

次章ではこれらの不安生起特性が他の走行シーンでも再現されるのかを検討し、不安生起特性の有効範囲を確認すると同時に、更に得た知見をまとめる。

## 第 4 章

### 不安生起特性の適用範囲の検討

## 4.1 はじめに

本章では3章で得られた不安生起特性が異なるシーンにおいても適用可能かを検討し、追加した実験も含め、不安生起特性に関する知見をまとめる。

## 4.2 実験概要

### 4.2.1 実験の目的

本実験の目的はこれまでに得た不安生起特性が異なるシーンでも適用可能かを調べることと不安生起特性に関する知見を追加で得ることである。

具体的には、3章で考察した予期不安が異なる走行シーンでも発生するのか、情報提示の適切な提示タイミングが他のシーンでも異なるのか、そして情報提示が周辺歩行者の接近に対する不安を低減させる効果を持つのかを検証することが目標である。

本実験は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。

### 4.2.2 実験方法

実験は3章と同様にDSを用いた仮想環境下で行った。実験参加者はシミュレータ上で自律走行を体験し、各試行に対して実験参加者の主観評価および視行動を採取した。

実験装置は3.3.2で記したものと同様の装置を用いる。また、本実験の実験条件も特筆しない限り3章の実験に準じる。

### 4.2.3 実験参加者

本実験に参加するのは、平均年齢は $24.6 \pm 2.6$ 歳の成人男女9名である。なお、実験参加者には実験内容を説明し、実験実施前にインフォームド・コンセントを得ている。

## 4.3 実験条件

### 4.3.1 走行シーン

本実験では予期不安が発生しやすいことを想定した走行シーンCと歩行者接近に対する不安が発生しやすいことを想定した走行シーンDの二つの走行シーンで実験を行った。

3章の実験で実験参加者から得られたコメントより、予期不安は提示情報が歩行者と重複した時、そして将来の蛇行運転が提示された時に発生することが考えられる。そのため走行シーンCとして情報提示と歩行者の重複が発生し、歩行者回避のために蛇行運転を行うシーンを選定した。

他者の接近に対して不快を示す領域であるパーソナルスペースは速度方向に対して楕円上に伸びることから、同方向に進む歩行者よりも対向方向に進む歩行者の方が搭乗者は不安などのネガティブ感情を生起しやすいと考えられる。そのため走行シーンDとして全ての歩行者がPMVと反対の進行方向となる歩行者群を走破するシーンを選定した。

### 4.3.2 情報提示

本実験で扱う情報提示は3章で不安低減効果があると判明したPATHとFOLLOWの情報提示を採択する。各情報提示に対して3章の実験と同様に1秒先の提示と3秒先の提示の二条件を用意した。

## 4.4 評価方法

本実験では車両挙動に対する不安以外にも、歩行者の接近に対する不安を低減することを確認したいため、主観評価のアンケート項目を表4.1へと改良した。

表 4.1 アンケート内容（有効範囲検証実験）

質問項目	-3	+3
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来位置が予測しやすいか	予測しにくい	予測しやすい
車両の将来挙動に対する不安を感じたか	安心	不安
歩行者の接近に対する不安を感じたか	安心	不安

また、不安の生起したタイミングを計測するため、実験参加者にはシーンを体験している間、不安を感じた際に手元のボタンを押すように教示した。これは提示情報が歩行者と重複したタイミングと不安が生起したタイミングを比較することで、予期不安の存在を確認することを狙っている。

## 4.5 実験結果

### 4.5.1 予期不安に関する結果と考察

走行シーン C の車両の挙動に対する不安に関する主観評価の結果を図 4.1 に、走行シーン D の結果を図 4.2 に示す。3 章と同様、図中のアスタリスクは None との有意差を表す。走行シーン D では走行シーン A の結果と同様に PATH と FOLLOW の情報提示を行うことで不安が有意に低下したのに対し、予期不安が発生することを期待して恣意的に選定した走行シーン C では車両の挙動に対する不安は低下しなかった。また、予測に関する質問項目を説明変数、車両の挙動に対する不安を説明変数とした重回帰分析を走行シーンごとに行ったところ、走行シーン C では  $R^2 = 0.343$ 、走行シーン D では  $R^2 = 0.570$  となり、走行シーン C では比較的弱い相関しか見られなかった。この二つの結果から、走行シーン C では情報提示によって車両挙動が予測しやすくなっても、予期不安が発生したことで不安の低減には繋がらないことを改めて確認した。

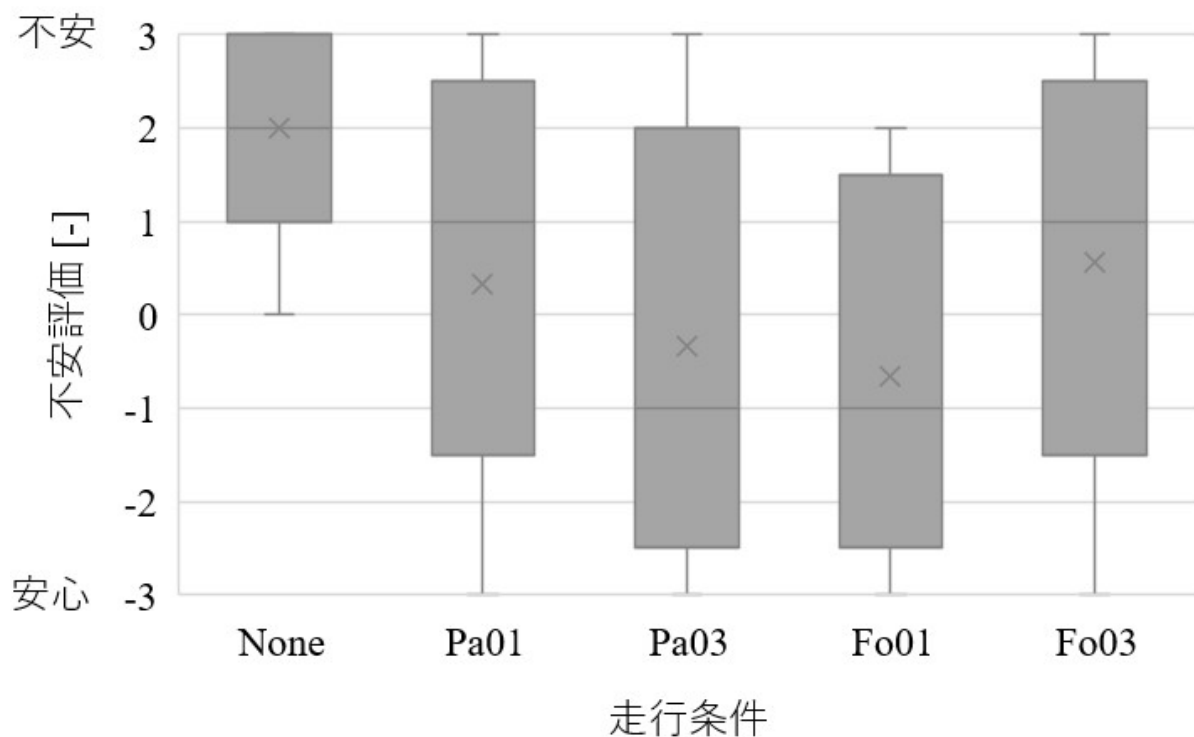


図 4.1 走行シーン C の車両挙動に対する不安評価

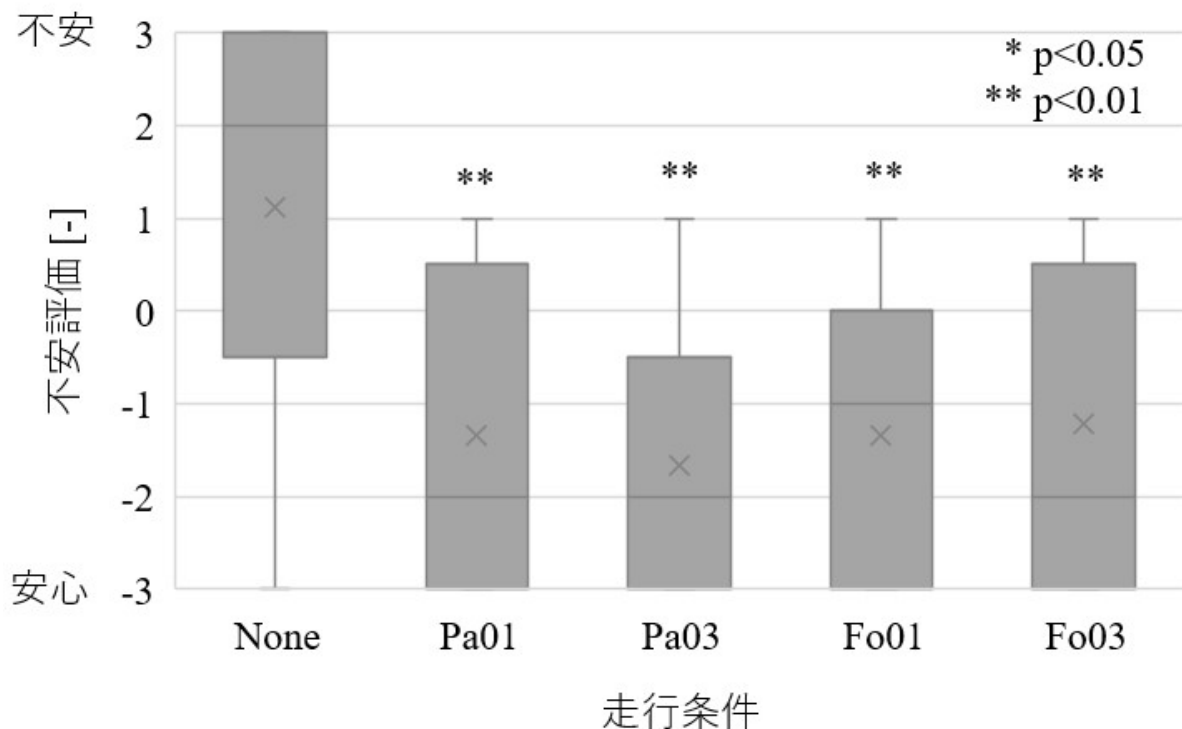


図 4.2 走行シーン D の車両挙動に対する不安評価

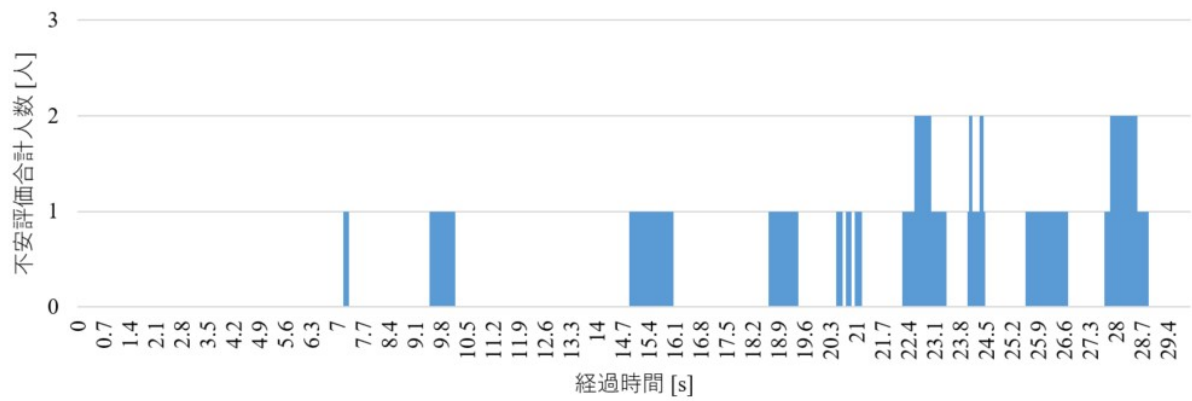
本実験では予期不安が存在する可能性を各シーンごとの総括的な主観評価だけでなく、図 4.3 に示す、不安の時間変化からより深く考察する。

図 4.3a は走行シーン C の情報提示なしの条件 (None) で搭乗者に不安が生起したタイミングを示す。実験参加者のコメントから不安生起の要因は車両挙動に対する不安と周辺歩行者の接近に伴う不安に大別されることが分かっている。走行シーン C ではシーン開始から 15 秒後から歩行者回避のために蛇行運転を行うことから、図 4.3 の 15 秒付近で発生する不安は蛇行運転によるものだと考えられる。この時の様子は図 4.4 の通りであり、実験参加者のコメントからもこのことは示唆されている。次に図 4.3b と図 4.3c に着目する。これらは 3 秒先の情報を元にそれぞれ PATH と FOLLOW の情報提示を行った際の不安の時間変化を示す。両者とも 15 秒付近で不安生起が観測されている一方、その 3 秒前の 12 秒付近にも不安の生起が観測された。

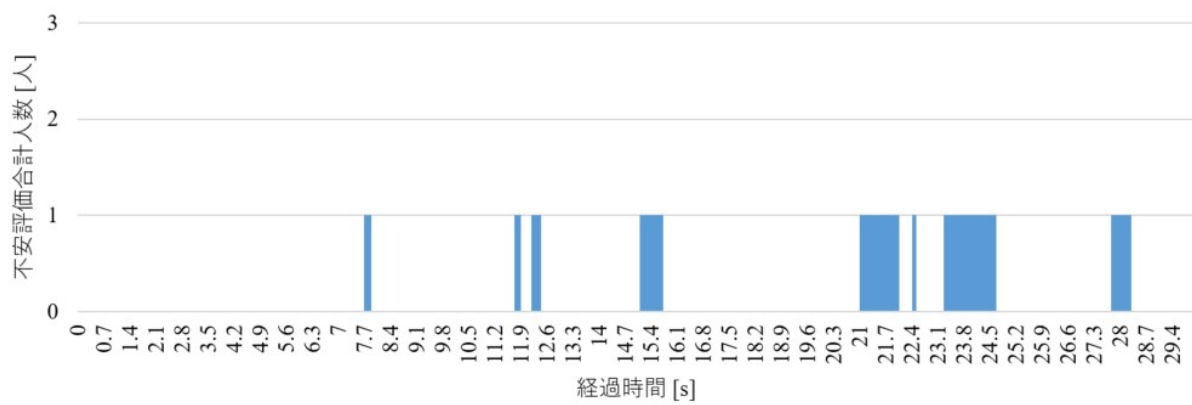
これは情報提示を行わなかった際の不安の時系列変化を示す図 4.3a には存在しないものであり、情報提示を行ったことで生起した不安であると考えられる。不安の生起タイミングが蛇行運転を行う 3 秒前であることと、これらの情報提示が 3 秒先の情報を示すことから、この 12 秒付近で生起した不安は蛇行運転の予期不安によるものであると考えられる。

また、1 秒先の PATH を提示した場合でもシーン開始から 14 秒後、すなわち蛇行運転の 1 秒前に不安が生起したことから、1 秒先の条件においても蛇行運転の予期不安は発生する可能性がある（図 4.3d）。しかしながら、1 秒先の FOLLOW を提示した条件（Fo01）では蛇行運転の予期不安は発生せず、蛇行した瞬間に生起する不安が他の情報提示条件よりも長期化した。これは、図 4.3e において、14 秒付近の不安生起時間が他よりも長いことから読み取ることができる。また、実験参加者からのコメントから「Fo01 の情報提示は Pa01 よりも意識的に情報提示を見ないと情報を得られなかった。」「Pa01 は線の先端が視界の下で細かに動くから気になった」という意見が得られ、Fo01 は Pa01 よりも情報を獲得しにくく、予期不安が発生しにくかったことが考えられる。そして、蛇行運転を予測しにくかったことから、他の情報提示した条件と比べて None の条件に近い不安生起変化が 15 秒付近で観測されたと考えられる。

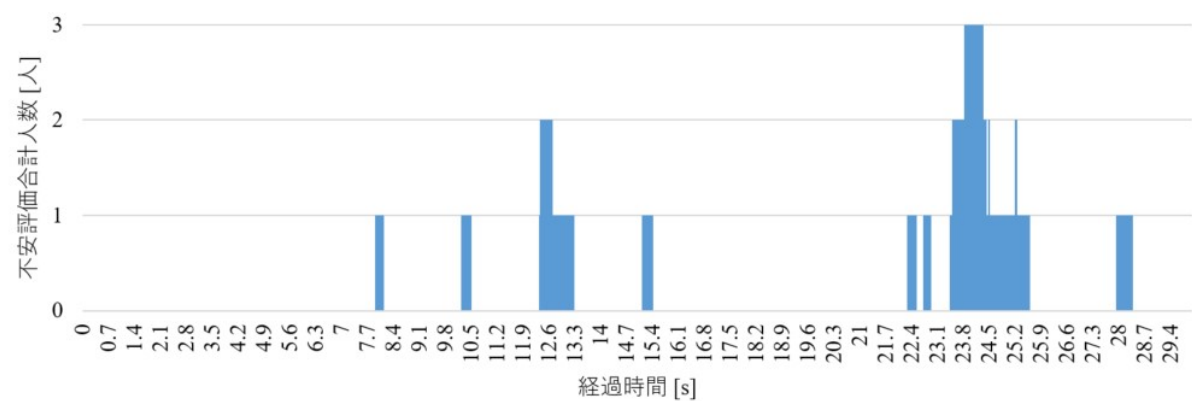
走行シーン C では蛇行による予期不安以外にも、情報提示と歩行者との重複に伴う予期不安の発生も想定して走行シーンを選定した。情報提示と歩行者の重複（図 4.5）は 3 秒先の情報提示を行う条件においてシーン開始から 24 秒後に発生する。そのため、図 4.3b と図 4.3c の 24 秒付近で生起した不安は情報提示と歩行者の重複による予期不安によるものだと考えられる。特に Fo03 の条件では情報提示を行わなかった None の条件と比較しても 24 秒付近で不安と評価した人数が多い、すなわち不安が生起する可能性が高いことが分かる。これは Fo03 では仮想的な先行車を投影したことから、衝突をよりリアルに実感することが要因の一つとして考えられる。また、図 4.3a の 26 秒付近で生起している不安は、情報提示と重複した歩行者の接近に伴う不安によるものであることがコメントから判明しており、この不安は図 4.3b と図 4.3c で生起していない（重複した歩行者は PMV と対向方向に進んでいることから重複が 24 秒後に発生したのに対し、接近による不安が 26 秒後に生起したと考えられる）。これは、情報提示と歩行者の重複が解消したことで脳の処理容量が認知的評価の再評価プロセスに使われ、歩行者の接近に関する情報を取得する余裕がなくなったことが原因の一つとして考えられる。



(a) None



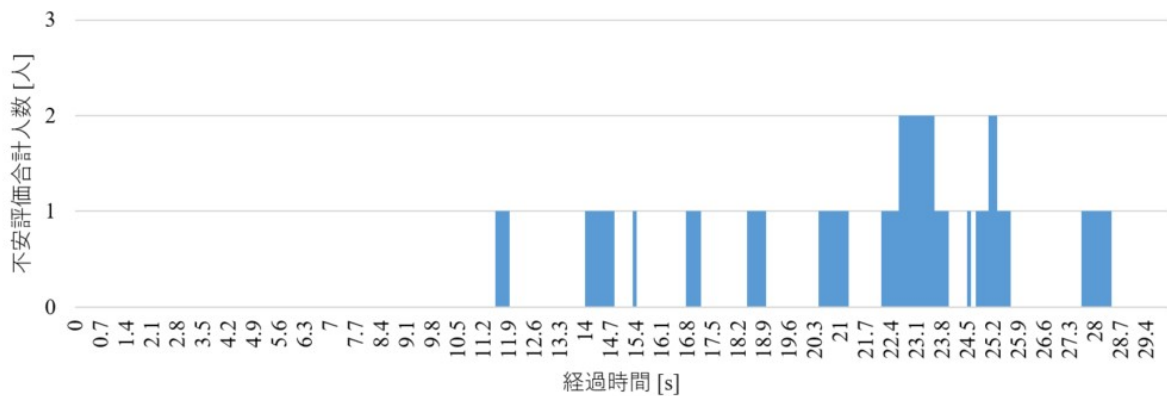
(b) Pa03



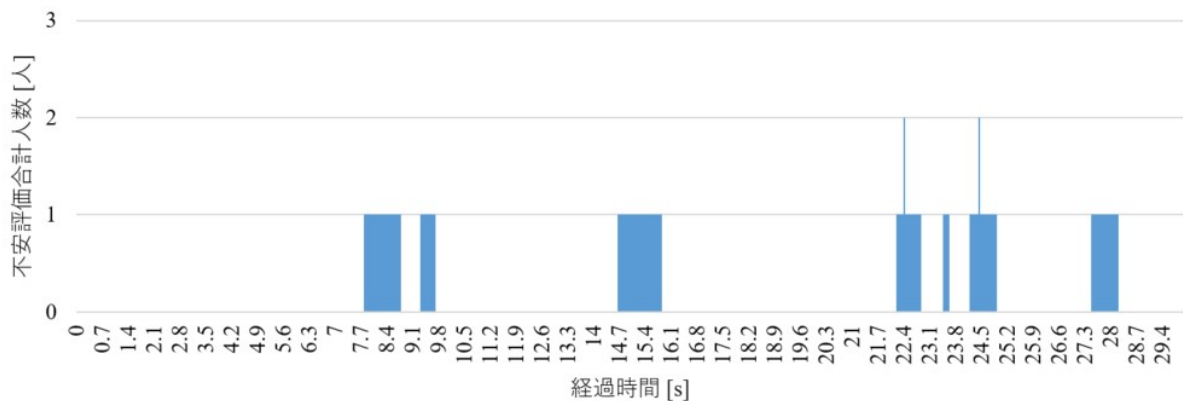
(c) Fo03

図 4.3 走行シーン C の不安生起タイミング





(d) Pa01



(e) Fo01

図 4.3 走行シーン C の不安生起タイミング（続き）

本実験で発生が確認された二種類の予期不安に対し、3章で述べた「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」という不安生起特性 4. が適用できるか、すなわち、予期不安が発生した際に搭乗者は探索的な視行動を行うのかを視行動分析から検証する。図 4.3 に示す不安生起区間から、車両の蛇行運転によって予期不安が発生した 11-14 sec と情報提示と歩行者の重複から予期不安が発生した 23-25 sec の二区間を抽出し、分析対象区間とした。また、情報提示と歩行者の重複が明確な情報提示条件は 3 秒先の情報を提示した Pa03 と Fo03 のため、この二条件にて予期不安が発生した人（蛇行に関しては 2 人、情報提示と歩行者の重複に関しては 4 人）と予期不安が発生しなかった人の視行動を比較した。なお、予期不安発生の有無は図 4.3b と図 4.3c にて分析対象区間で不安と評価したかで判別した。3章の実験に引き続き、2 人分の視行動の取得に失敗した。

蛇行運転による予期不安が発生した区間で搭乗者が注視した AOI の状況を図 4.4 に示し、情報提示と歩行者の重複による予期不安が発生した区間で搭乗者が注視した AOI の状況を図 4.5 に示す。x, y, z は周辺歩行者を指し、g は提示した情報を指す。

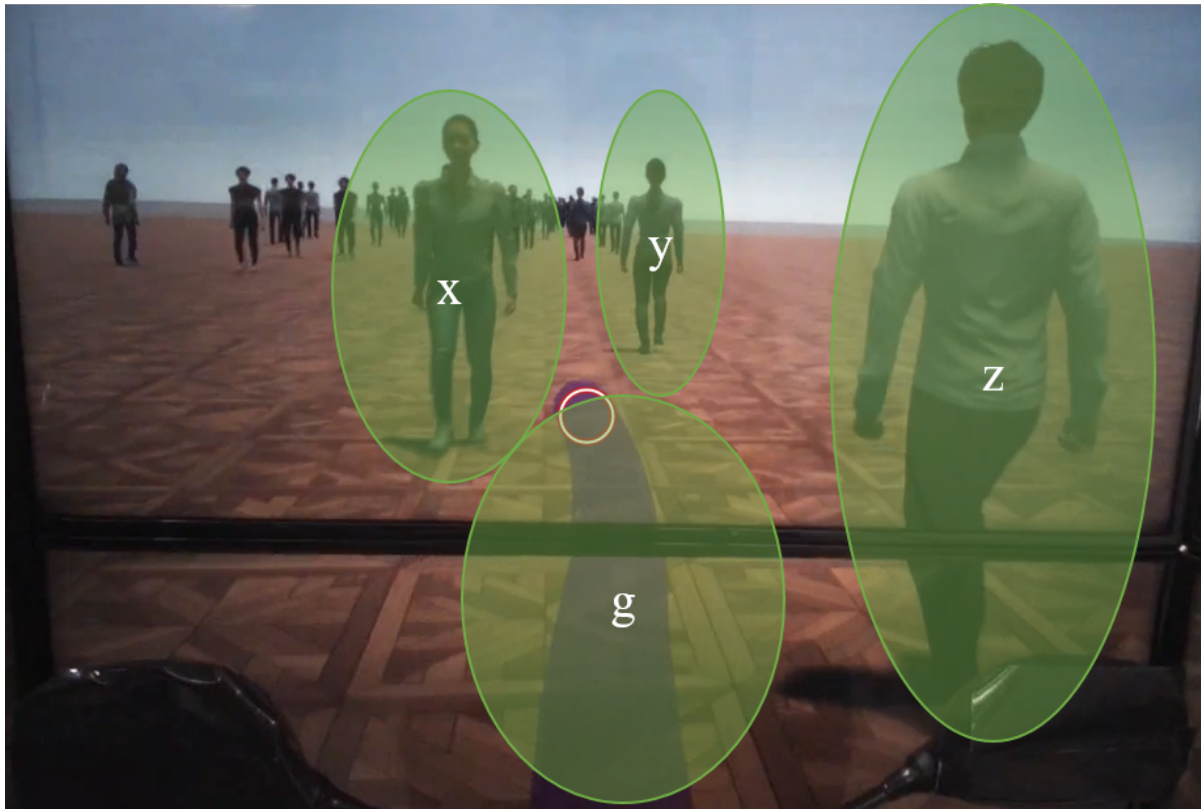


図 4.4 蛇行運転による予期不安発生区間の AOI

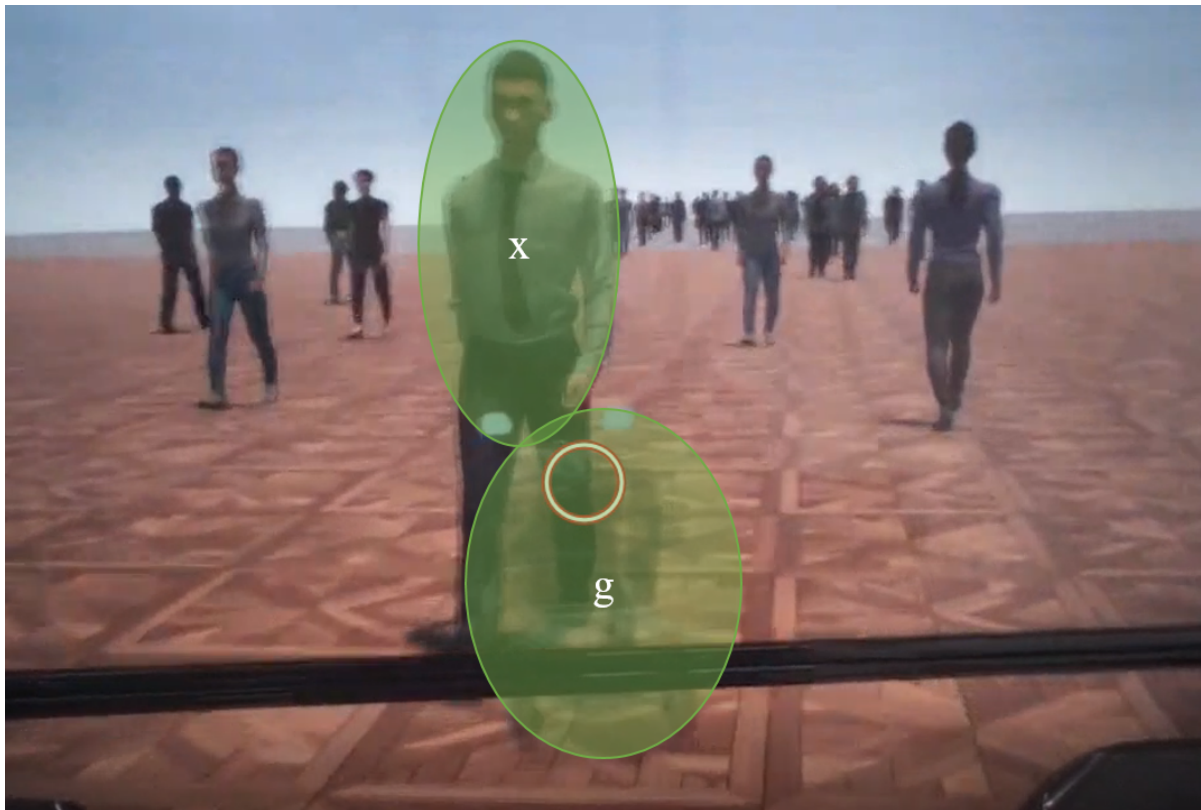


図 4.5 情報提示と歩行者の重複による予期不安発生区間の AOI

以上の条件で 3 章と同様の分析指標を用いた視行動分析を行い、予期不安の発生の有無による探索的視行動の発生確率，すなわち  $H_t$  の違いを調べたところ，表 4.2 と表 4.3 が示すように，どの条件においても  $H_t$  に大きな差は見られなかった．これは予期不安が注視対象から発生しているものであり，探索的に情報を獲得するプロセスを必要としないことが原因の一つとして考えられる．また，情報提示と歩行者の重複による予期不安発生区間の視行動を分析する際に，図 4.5 にて搭乗者の注視点を示す赤丸が，歩行者と提示視した情報の両方と重なってしまう．この際，搭乗者から見て手前にあるオブジェクトを注視していると見なして分析を行ったが，それが原因で AOI 間の遷移が正しく計測できなかった可能性も考えられる．また，今回は注視点から搭乗者が注意を向けている対象，すなわちワーキングメモリにて処理している対象を同定したが，人間は注視点以外にも有効視野（functional visual field）からも情報を取得しており，今回の分析条件では AOI 間の距離が近く，一方の AOI を注視している際に他方の AOI が有効視野に収まっていることから，探索的視行動が観測できなかった可能性もある．

以上の議論より，「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自律移動体の将来挙動に対する不安が低減する」という不安生起特性 1. は，蛇行運転や歩

表 4.2 蛇行運転による予期不安発生の有無による遷移確率エントロピーの変化

情報提示条件	予期不安：あり	予期不安：なし
Pa03	$0.24 \pm 0.02$	$0.23 \pm 0.17$
Fo03	$0.17 \pm 0.25$	$0.14 \pm 0.09$

表 4.3 情報提示と歩行者の重複による予期不安発生の有無による遷移確率エントロピーの変化

情報提示条件	予期不安：あり	予期不安：なし
Pa03	$0.06 \pm 0.08$	$0.09 \pm 0.03$
Fo03	$0.00 \pm 0.00$	$0.05 \pm 0.04$

行者との衝突など予期不安を発生させる可能性のあるシーンでは有効ではないことを明らかにした。これは認知的評価における一次的評価でネガティブと評価されやすい将来情報を与えてしまうことが原因と考えられる。また、「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」という不安生起特性 4.は予期不安に対しては適切ではないことがわかった。

#### 4.5.2 歩行者接近に対する不安低減に関する考察

歩行者接近による不安が生起しやすいと想定し、選定した走行シーン D の歩行者接近に対する不安評価を図 4.6 に示す。図より、情報提示には歩行者の接近に対する不安も低減させることができることがわかる。特に 3 秒先の情報を提示した条件の方が 1 秒先の条件を提示した時よりも不安低減の効果が高いことがわかった。

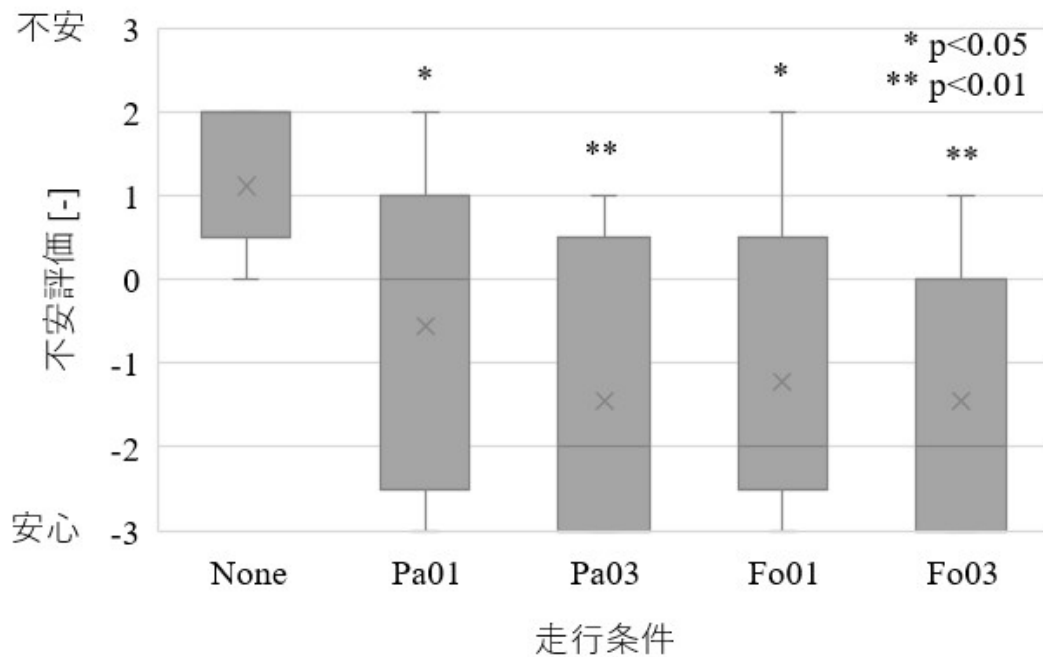


図 4.6 走行シーン D の歩行者接近に対する不安評価

また、不安生起の時間変化の結果（図 4.8）からも、情報提示が持つ歩行者接近による不安低減効果の存在が導ける。図 4.8a は走行シーン D の情報提示なし条件における不安生起の時間変化を示す。7 秒から 9 秒の間に生起した不安は全て歩行者の接近に伴うものだとコメントから聴取しており、この間の角速度変化が  $0.002\text{rad/s}^2$  と微小であり、予測しやすい直進移動だったこともこれを支持する。

この 7 秒から 9 秒の間に生起した不安は情報提示を行ったことで低減しており、特に Fo01 以外の条件では完全に解消している。Fo01 では 9 秒よりも 0.2 秒ほど先になるが不安を生起した実験参加者が存在した。これは前項で説明した Fo01 の情報取得の困難さから注視点が他の情報提示条件ほど提示情報に集中せず、接近する周辺歩行者を認知してしまったことが原因の候補の一つと考えられる。

また、走行シーン D では意図的に歩行者接近による不安が生起されやすい環境を用意したことから、不安生起タイミングが None と比べてほぼ存在しない図 4.8c は、特に歩行者接近による不安の生起を低減させやすいことが分かった。この結果は 3 章の結果と共通し、3 秒先の先行車を提示することは、単純な線の先端よりも将来の姿勢角情報を含んだ車両というコンテンツ性の高い対象を搭乗者の第一眼位の視野の中央付近、すなわち搭乗者の見やすい位置に提示されることから、注意を集めやすく、周辺歩行者に対する注視割合を低減させる効果が一番高かったことが考えられる。

一般に、人間には探索動作なしで情報受容が可能な、「安定注視野」と呼ばれる範囲が存在すると言われている<sup>[64]</sup>。安定注視野の視野角は垂直上向きに  $30^{\circ}$ ，下向きに  $40^{\circ}$  であり，3 秒先の情報提示に対する注視割合の方が高かった理由は，情報がこの安定注視野に位置したからだと考えられる（図 4.7）。

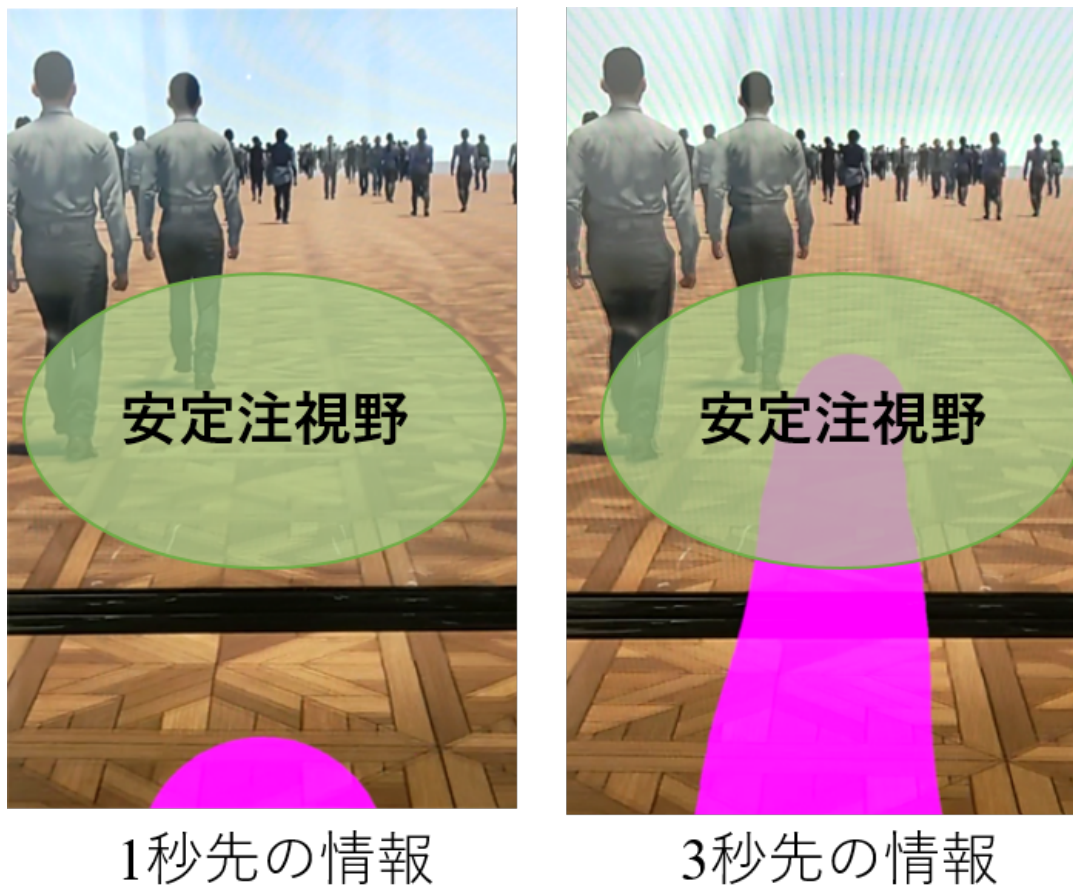
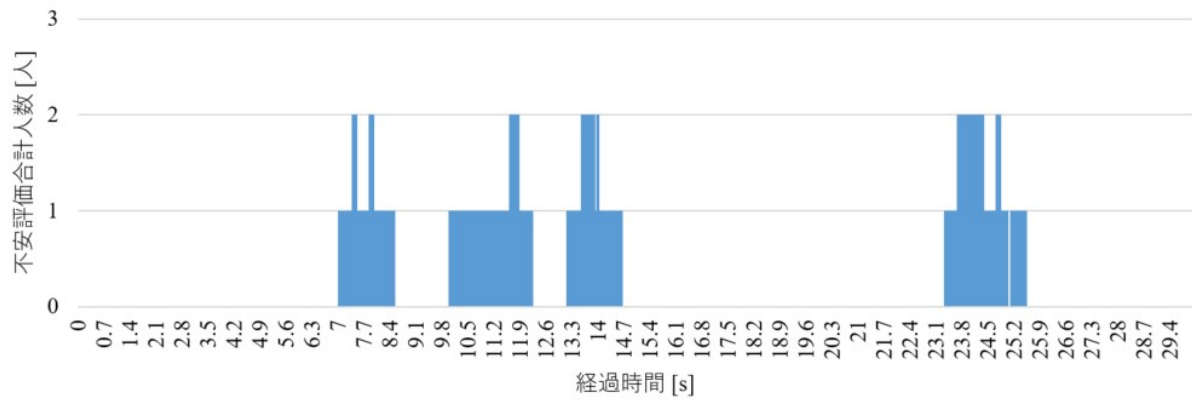
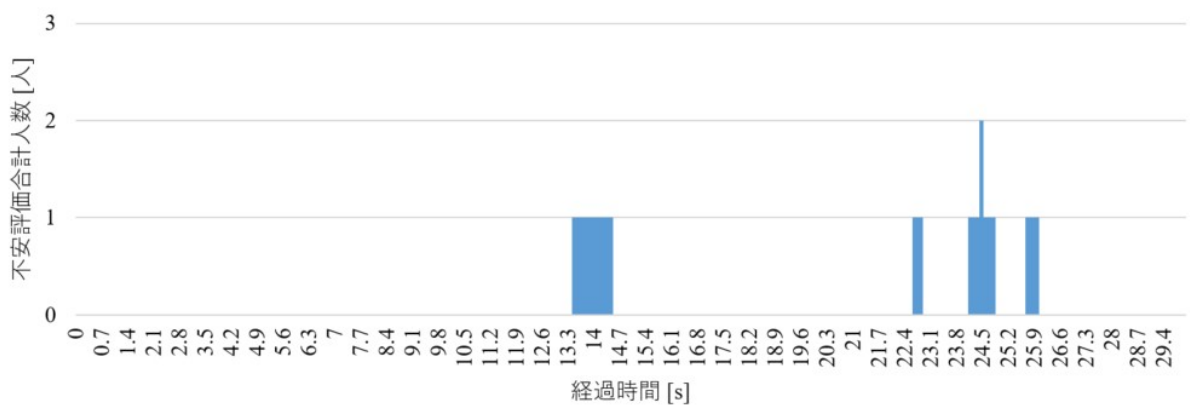


図 4.7 安定注視野のイメージ図

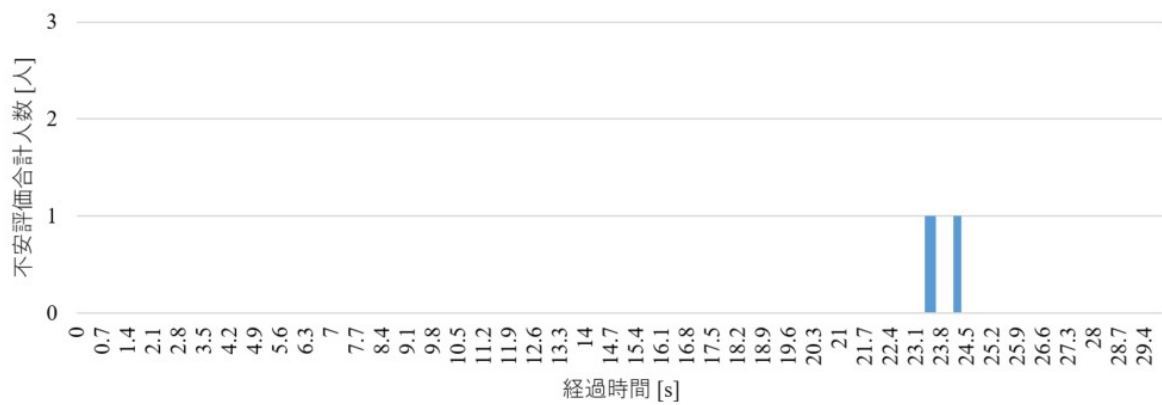




(a) None

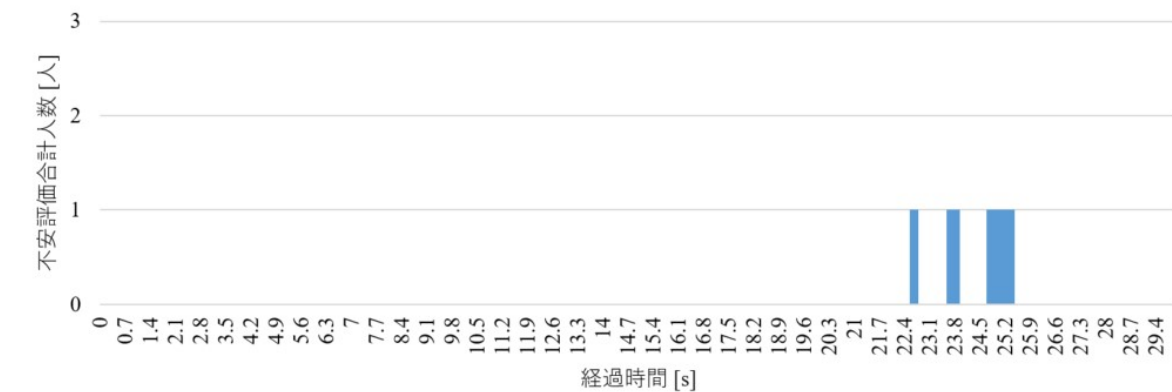


(b) Pa03

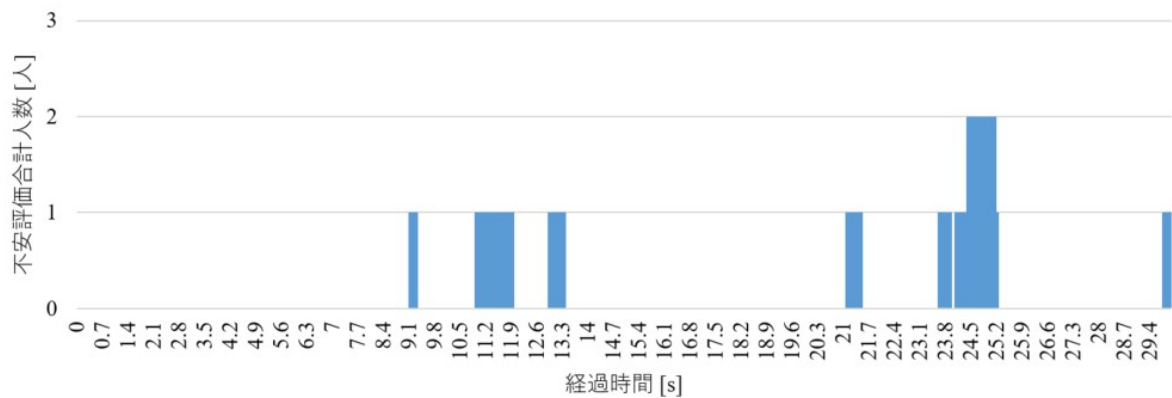


(c) Fo03

図 4.8 走行シーン D の不安生起タイミング



(d) Pa01



(e) Fo01

図 4.7 走行シーン D の不安生起タイミング (続き)

歩行者が接近した際の搭乗者の視行動を分析することで、実際に情報提示への注視割合が高くなり、接近歩行者への注視が減少したことで不安が低減しているのかを確認する。図 4.8 に示す結果から、不安生起対象となる歩行者を 7 秒から 9 秒の間で搭乗者を横切った歩行者 (x) として選定する (図 4.8)。この歩行者が搭乗者の視界に現れる区間は走行開始 6 秒後から 9 秒後までのため、この区間を分析区間とする。





図 4.8 歩行者接近に伴う不安生起区間の AOI. x は不安生起対象となる歩行者, y は側方を通過する歩行者, z は遠方の歩行者群, g は地面（情報提示を含む）を指す.

情報提示条件に応じた注視割合の違いを図 4.9 に示す. 図中に黄色で示している接近歩行者はこの分析区間での不安生起対象であることが実験参加者のコメントから明らかになっている. この図から分かるように, 情報提示を行ったことで情報提示に対する注視割合が増加し, 不安生起対象である接近歩行者の注視割合が低下した. 3 秒先の情報を提示したとき, 特に Fo03 の情報提示の際に, 顕著にその違いが表れた. この結果と, 走行シーン D において Fo03 の条件が歩行者接近の不安を一番低下させたこと (図 4.6 と図 4.8) 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.

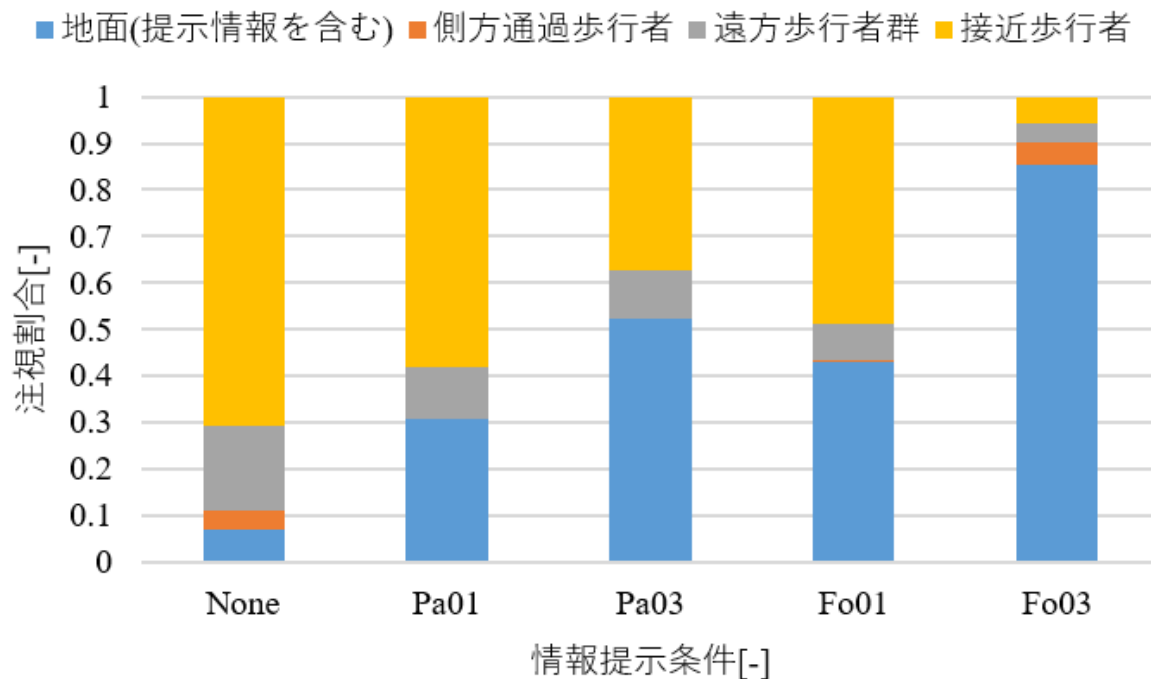


図 4.9 情報提示条件に応じた注視割合の違い（走行シーン D）

また、分析対象区間での停留割合エントロピーを図 4.10 に示す。Fo03 で停留割合エントロピーが低下した理由が情報提示に対する注視割合の増加であることに対し、None の条件では不安生起対象である接近歩行者の注視割合が高かったことで、停留割合エントロピーは低下している。接近歩行者に対する注視は割合が高いだけでなく、一度注視したら他の AOI に遷移しにくく、その影響で、走行シーン A の結果とは異なり、None の条件下での遷移確率エントロピーが情報提示を行った条件と比較して大きくなかった（図 4.11）。この特性から、搭乗者は歩行者接近によって不安を感じた場合、不安生起対象となるその歩行者の挙動を観察し、将来の情報を得ようとすることで、その歩行者に対する注視割合が高まると考えられる。また、図 4.8 にて不安が生起したと判定されたタイミングで搭乗者は接近歩行者に対して注視していたことから、接近歩行者に対する注視割合が増加するほど不安が生起しやすく、不安が生起してしまった場合においても情報提示など新しい AOI に注視点を遷移させ、不安を長期化させないためには重要であると考えられる。

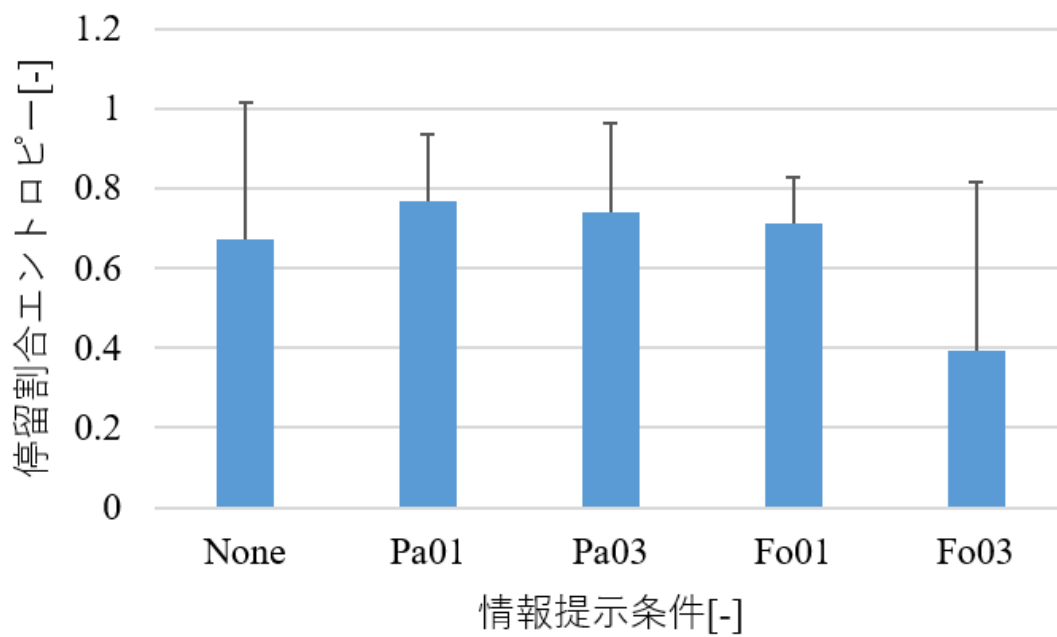


図 4.10 情報提示条件に応じた停留割合エントロピーの違い（走行シーン D）

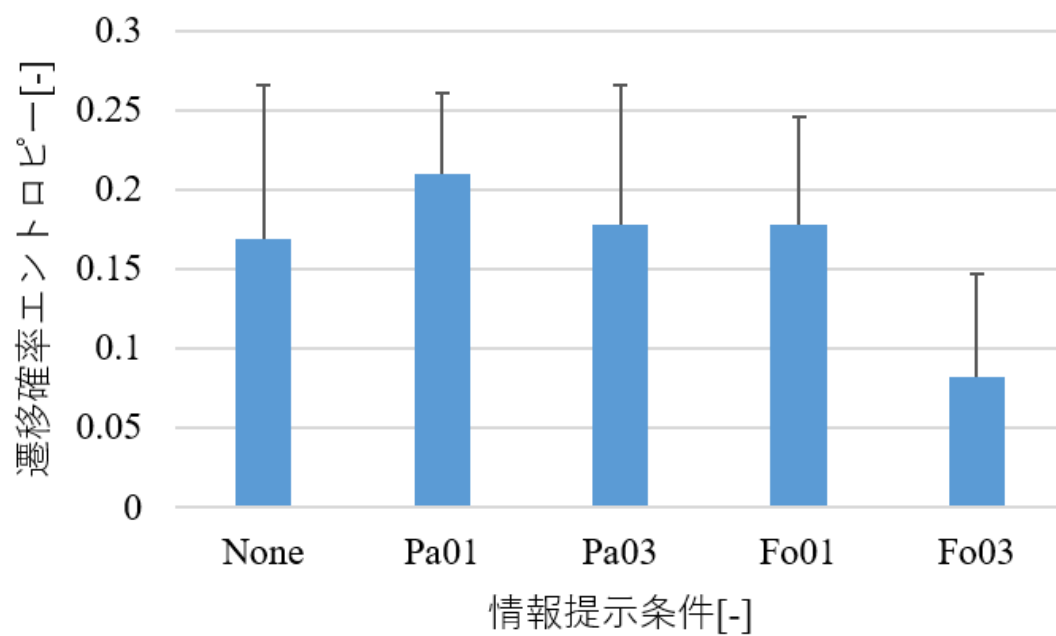


図 4.11 情報提示条件に応じた遷移確率エントロピーの違い（走行シーン D）

本実験では、3章で考察した不安生起特性 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が低下し、注視点が情報提示に集まることで、周辺歩行者の接近に伴う不安も低減させる効果を持つ可能性がある」を、実際に歩行者接近の不安を点数として可視化し、視行動を分析することでその特性を確認した。また、接近する歩行者を不安解消のために注視した場合、不安生起対象を注視し続ける傾向があり、不安がより長期化しやすいことが分かった。同様の視行動特性として凶器注目効果が挙げられる。これは殺人や強盗のシーンにおいて、目撃者が犯人の凶器に不安を感じ注視してしまうことで犯人の顔や服装などの特徴をあまり覚えていないという効果である<sup>[79]</sup>。この原因として、不安などの不快感情は有効視野（functional visual field）の範囲を狭める効果があり<sup>[80]</sup>、犯行現場における目撃者もこの効果によって不安生起対象である凶器を中心に有効視野が狭まり、周辺にある物事の知覚認知が制限されることが挙げられる<sup>[79]</sup>。本実験でも同様に不安生起対象である歩行者を中心に有効視野が狭まったことで、注視点の遷移確率が低下したと考えられる。

また3章の不安生起特性 2.「情報提示によって搭乗者の予測は補佐され、不安は低減するが、走行シーンに応じて不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なる」では搭乗者の車両挙動に対する不安を解消させる最適な情報提示は走行シーンに依存することを述べたが、歩行者の接近に対する不安を解消させる最適な情報提示は走行シーンに依存せず、搭乗者の見やすい位置に注意が向けられやすい情報（本実験では Fo03）を提示することで、接近する歩行者に対する認知的評価を行いにくくなる特性から、不安が生じにくくなることが分かった。

## 4.6 第4章まとめ

本章では、予期不安に対してより深く理解するために予期不安が発生しやすい走行シーン C と、情報提示を行った際に周辺歩行者の接近に伴う不安が低減するのかを検討するために歩行者に対する不安が発生しやすい走行シーン D を設定した。これらの走行シーンを用いて実験を行い、3章で述べた不安生起特性が異なる走行シーンでも適用可能であることを確認した。また、不安生起特性に関する更なる知見を得た。不安生起特性の追記内容および変更内容を以下に記す。

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。しかしながら、予測した将来が一次的評価にてネガティブとして評価されるものの場合、この特性は適用できない。
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不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なる。

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内容を予期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。特に、歩行者接近に対する不安から探索的な視行動を行い、接近してくる歩行者自体を不安の解消に繋がる情報とみなした場合、不安を生起させる対象を注視し続けるため、不安が長期化しやすい。
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ことが低下し、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減する。特に搭乗者の注意を集めやすい情報を提示する時、この特性は適用されやすい。

次章ではこれまで明らかにした不安生起特性に基づいて、情報提示を行った際の搭乗者の不安低減効果についてまとめる。

## 第 5 章

### 情報提示の不安低減効果と要求機能の抽出

## 5.1 はじめに

本章では、3章4章で述べた実験に基づき明らかにした搭乗者の不安生起特性を考慮して、情報提示を行った際の不安低減効果について整理し、その要求機能を抽出し、要求機能を満たす具体策を考案する。

## 5.2 情報提示の不安低減効果

3章と4章の実験により、自律移動型PMVの搭乗者は車両の将来挙動が予測困難な時と、周辺歩行者の接近を認知した時に不安を感じることが分かった。つまり、車両の将来挙動が予測しやすくなること、周辺歩行者の接近が認知されにくくなることは搭乗者の不安を低減させる。

本研究で搭乗者の不安を低減させる方法として検討した情報提示は、この二つの役割を担うことが可能であることが実験により示されている。すなわち、情報提示には以下の二つの効果があることを意味する。

- 車両の将来に関する情報を提示することで、搭乗者が車両の将来挙動を予測しやすくなり、車両挙動に対する不安が低減する効果
- 情報提示に搭乗者の注意が集まることで、不安生起対象である歩行者への注視割合が減少し、接近する歩行者に対する不安が低減する効果

## 5.3 搭乗者の不安を低減させる情報提示の要求機能

### 5.3.1 車両挙動に対する不安低減効果に関する要求機能

情報提示が搭乗者の車両挙動に対する不安を低減させる効果に関係する搭乗者の不安生起特性は以下の三つである。

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。しかしながら、予測した将来が一次的評価にてネガティブとして評価されるものだった場合、この特性は適用できない。
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不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なる。
3. 搭乗者は情報提示によって将来が予測しやすくなっても、衝突などを想起させる

ネガティブな内容を予期させてしまった場合、予期不安が発生し、不安はかえって増大することがある。

不安生起特性 1.と 2.より、情報提示は「車両の将来位置と姿勢角を搭乗者に伝達することができる」ことが要求機能の一つである。ただし、3章4章の実験にて3秒先の先行車を投影した情報提示では、3秒先の車両情報が実際の挙動に反映されるまでどのような挙動を取ったのか覚えていられなかったというコメントを得ている。これはワーキングメモリに視覚情報が最大でも1秒程度しか保持できないことから説明できる。よって「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」も情報提示の要件として挙げられる。3秒先までの位置情報を元に線を投影した条件では、先行車を提示した条件と比較して、先ほど述べた記憶の保持に対して困難を訴えるコメントは存在しなかった。FOLLOWでは3秒先の情報のみを提示しているのに対して、PATHでは3秒先までの位置情報を全て線として提示している。このことから、車両の将来挙動を予測しやすくする上で、本研究の提示条件ではPATHの情報提示の方が記憶に保持されやすいという点でFOLLOWよりも優れていると考えられる。

不安生起特性 3.より、情報提示は「提示した将来位置と現在の歩行者が重複しない」ことや「提示した将来姿勢角が蛇行運転を示さないこと」も重要な要件の一つとして挙げられる。

2章で設定した不安生起メカニズムを、車両挙動に対する不安低減効果を検討するために、その特性を含め、図 5.1 に再掲する。搭乗者は提示情報に注意を向けることでその情報をワーキングメモリに格納し、それまで格納していた過去の車両挙動の情報と合わせて、将来予測を行う。この予測した将来の情報は情報提示により、実際の車両の将来挙動に近いものとなり、「理想と現実の乖離」が小さくなる。これらの情報を統合して認知的評価を行うことで、車両の将来挙動が予測しやすくなったことから認知的評価の一次的評価でネガティブな情報であると評価されにくく、不安が生起しにくくなる。また、不安が生起してしまった際にも、注意に影響し、探索的な視行動を行うことから、不安の解消につながる情報提示に対しての注視割合が高まる。そして注視した情報提示によって不安低減効果が発揮されることから、情報提示は不安の生起を抑えられるだけでなく、発生した際に不安を長期化させない効果も存在する。



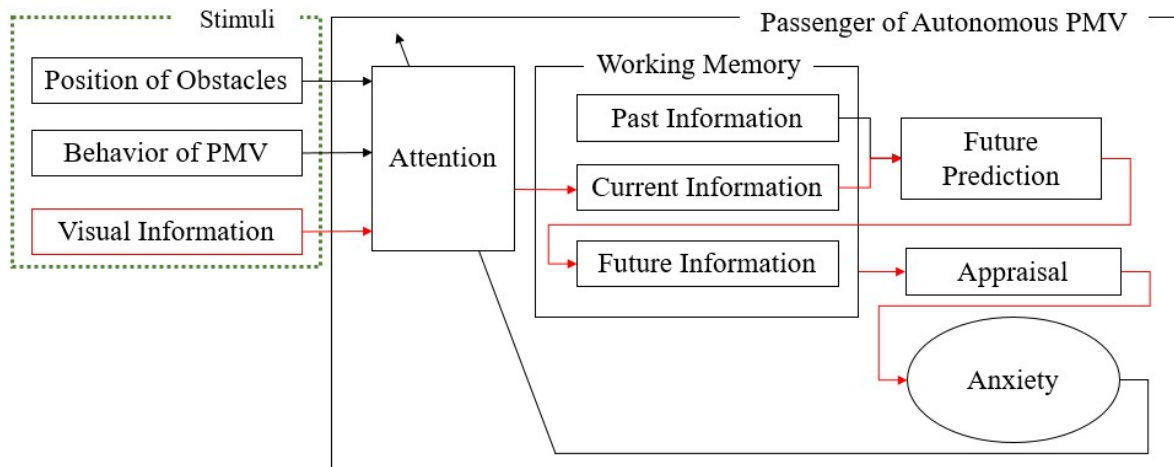


図 5.1 車両挙動に対する不安低減効果

### 5.3.2 歩行者の接近に対する不安低減効果に関する要求機能

歩行者の接近に対する不安を低減させる効果に関する搭乗者の不安生起特性は以下の二つである。

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。特に、歩行者接近に対する不安から探索的な視行動を行い、接近する歩行者自体を不安の解消に繋がる情報とみなした場合、不安を生起させる対象を注視し続けることにより不安が長期化しやすい。
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ことが低下し、注視点が情報提示に集まることで、周辺歩行者の接近に伴う不安も低減する。特に搭乗者の見やすい位置に注意が集まりやすい情報を提示することで、この特性は適用されやすい。

これらの不安生起特性から、「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」も情報提示による不安低減を考えるうえでは重要な要件であると言える。本研究の範囲ではこの FOLLOW が見やすい位置に投影される情報提示条件（Fo03）が最も不安を低減させる効果があることを確認した。

また、歩行者接近に対する不安低減を行う際は、搭乗者の注視を情報提示に集めることが重要であるが、そもそも移動とは外界の刺激を楽しむという目的もあるため、移動中に情報提示を注視し続けてしまう行動は本意ではない。つまり、情報提示は不安が生起してしまう場面で適切に行うことが重要である。本実験では、挙動変化が激しい場面

や周辺歩行者密度の高い場面で搭乗者は不安生起しやすいことが分かったため、これらの場面で情報提示を行うことも要求機能のひとつとして挙げられる。

### 5.3.3 要求機能のまとめ

以上の議論により、本研究で把握した不安生起特性を踏まえた情報提示の要求機能は以下の通りである。

- 車両の将来位置と姿勢角を搭乗者に伝達することができる
- 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
- 車両の挙動変化が激しい場面や周辺歩行者密度が高い場面で情報提示を行う

## 5.4 要求機能を満たす具体策

最後に要求機能を満たす具体策を考案する。

本研究ではPATHとFOLLOWの情報提示にて「車両の将来挙動が予測しやすくなる」ことが判明しており、Fo03の条件が一番搭乗者の注意を集めやすいことが分かっている。一方でFo03は歩行者密度が高く、車両挙動が複雑な走行シーンにて予測した車両の将来挙動が記憶に保持されにくく、Pa03の方が「車両挙動に対して予測した内容を記憶に保持しやすい」ことから、PATHとFOLLOWを同時に提示することで互いの短所を補うことができると考えられる。しかしながら、歩行者密度が高く、車両挙動が複雑な走行シーンでは、将来の蛇行運転を提示することに伴う予期不安や提示情報と歩行者が重複することに伴う予期不安が発生してしまう可能性が高い。そこで、こうした場面では、経路の位置変化の時間平均を取りローパスフィルタをかけた情報を提示することで蛇行運転を認知させないことや、歩行者密度が高く、情報提示が歩行者と重複しやすい環境においては、短いタイムスパンの提示情報を表示することで「搭乗者にネガティブな将来を予測させないこと」が実現できると考えられる。後者に関して、歩行者密度が高い状況下では、今回シミュレータ上で自律移動経路を生成する上でも用いられたDWA (Dynamic Windows Approach)<sup>[81]</sup>などの経路計画手法を用いて遠い将来までの経路を決定することは周辺歩行者の挙動を予測することが難しくなることからそもそも困難である。つまり、情報提示を行う上で本来制約条件となり得る項目だったが、不安生起特性

から遠い将来の予測をしなくてもよいということが分かったため、遠い将来までの経路を生成することは、PMV の走破性を考えるうえでは重要な課題となるものの<sup>[82]</sup>、搭乗者への情報提示を行う上では重要な課題とはならない。このように、走行環境に応じて提示する情報を可変にすることは不安生起特性 2. の項目とも合致する。

一般に注意が向けやすいコンテンツを作成する方法はいくつか存在する。例えば音情報の付与などマルチモーダルなアプローチ<sup>[83][84]</sup>や、映像刺激をより動的にするアプローチ<sup>[85]</sup>などがある。このような方法を参考にして FOLLOW 以外にも搭乗者の注意を集めやすいコンテンツを設計する際に、認知心理学の観点から考慮すべき事項を以下に述べる。

注意が集まりやすいコンテンツを設計する上で、認知心理学の分野では周辺手掛かり（peripheral cue）や中心手掛かり（central cue）を与えることが有効であるとされており、先行手掛かり法として体系化されている<sup>[86]</sup>。この先行手掛かり法が研究される中で、cue を与えすぎること、これまで注意を向けていなかった対象に注意が向きやすくなってしまう復帰抑制と呼ばれる現象が存在することが明らかになっている<sup>[87]</sup>。本研究で行った実験においても、情報提示の効果でこれまで注視していなかった接近歩行者に対して注意が向いてしまったことで、情報提示がなかった時以上の不安を体験したというコメントが存在した。このことから、情報提示による注意誘導を行う際はこうした認知心理学的視点から慎重に行う必要があると言える。

搭乗者にとって情報提示が見えやすい位置を考える上で、人間の目の特性を踏まえることは大切である。本研究の実験ではサッカードと呼ばれる眼球運動を計測することで搭乗者の注視対象がどのように遷移するかを分析した。それに対して、コンテンツを見えやすい位置に置くことを考える際は、探索的な視行動であるサッカードではなく、対象を視野中心で捉え続ける眼球運動である固視（fixation）やスムーズパシュート（smooth pursuit）の特性が重要となる。4.5 で紹介した「Fo01 の情報提示は Pa01 よりも意識的に情報提示を見ないと情報を得られなかった」という実験のコメントから、1 秒先の位置と姿勢角情報を元にした先行車の投影は搭乗者にとって見えにくかったと言える。これは 1 秒先の位置情報を元に提示したことから搭乗者が一般的な姿勢で PMV に搭乗した際に視野の下方でしか情報提示が行われなかったことが原因と考えられる。人間の眼球運動は 3 対の外眼筋によって制御されており、第一眼位という基本位置が存在する<sup>[88]</sup>。この第一眼位の付近で固視が行えること、また、視覚刺激の運動速度に対するスムーズパシュート速度のゲインが 1 を下回らない。すなわちスムーズパシュートの限界速度<sup>[89]</sup>でも追いつけない情報提示を行わないことを考慮する必要があると示唆される。

ここまで、情報提示を設計する際に考慮すべき事項を述べた。現実世界にヴァーチャルな情報を提示することは一般的に AR（Augmented Reality）と呼ばれるが、ヴァーチャ

ル技術によって現実世界の情報を削除させる DR (Diminished Reality) と呼ばれる概念も存在する<sup>[90]</sup>。周辺歩行者の接近を映像情報によって認知させにくくするアプローチはまさにこの DR の概念に通ずる。

## 5.5 第5章まとめ

本章では3章と4章の実験によって得た知見から、情報提示には以下の不安低減効果があることを述べた。

- 車両の将来に関する情報を提示することで、搭乗者が車両の将来挙動を予測しやすくなり、車両挙動に対する不安が低減する効果
- 情報提示に搭乗者の注意が集まることで、不安生起対象である歩行者への注視割合が減少し、接近する歩行者に対する不安が低減する効果

また、不安生起特性を考慮して、これらの効果を得るために情報提示を行う際には以下の要求機能を満たすべきであることを述べ、要求機能を満たす具体策の一つを考案した。

- 車両の将来位置と姿勢角を搭乗者に伝達することができる
- 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あること
- 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
- 車両の挙動変化が激しい場面や周辺歩行者密度が高い場面で情報提示を行う

次章ではこれまで得た知見をまとめ、今後の課題を述べる。

## 第 6 章

### 結論

## 6.1 本研究の結論

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以下に記す不安生起特性として把握した。

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。しかしながら、予測した将来が一次的評価にてネガティブとして評価されるものの場合、この特性は適用できない。
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不安を低減させやすい情報提示の特徴が異なる。
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内容を予期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。特に、歩行者接近に対する不安から探索的な視行動を行い、接近してくる歩行者自体を不安の解消に繋がる情報とみなした場合、不安を生起させる対象を注視し続けるため、不安が長期化しやすい。
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ことが低下し、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減する。特に搭乗者の注意を集めやすい情報を提示する時、この特性は適用されやすい。

以上の特性は DS 環境下における自律移動時の搭乗者に対する不安低減特性として得ることができた。この特性を一般化すると次に示す人間の特性が示唆される。「人間は将来が予測しにくいことに対して不安を感じた場合、周辺環境を探索し、将来予測に関係する対象に対して注視し、情報処理を行うことで将来挙動が予測しやすくなり、不安が低減する。しかしながら、対象から得られた情報がネガティブな将来を予測させる場合、予期不安が発生してしまう」

得られた不安生起特性を基に整理した情報提示の不安低減効果を以下に記す。

- 車両の将来に関する情報を提示することで、搭乗者が車両の将来挙動を予測しやすくなり、車両挙動に対する不安が低減する効果
- 情報提示に搭乗者の注意が集まることで、不安生起対象である歩行者への注視割合が減少し、接近する歩行者に対する不安が低減する効果

そして情報提示により上記の不安低減効果を得るうえで満たすべき以下の要求機能を抽出した。

- 車両の将来位置と姿勢角を搭乗者に伝達することができる
- 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あること
- 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
- 車両の挙動変化が激しい場面や周辺歩行者密度が高い場面で情報提示を行う

## 6.2 今後の課題と将来の展望

今後の課題として、以下の項目が挙げられる。

- 実環境での検討

本研究では実験の走行条件を完全に固定するためにDS環境下で実験を行った。また情報提示に関しても、MRグラスの視野角の問題からスクリーンに直接投影する方法を採用した。しかしながら、実際に社会実装する際は、実際の歩行空間で自律移動するPMVの搭乗者に対してAR技術を用いた情報提示を行うため、今回得られた結果が実環境においても再現可能か検証する必要がある。

- 人間の属性に応じた情報処理特性の考慮

本研究対象である自律移動型PMVは高齢者など認知能力が低下した人がメインターゲットとなるサービスである。本実験では20代30代の健常男女を対象に実験を行ったが、人間の属性に応じて得られる特性が異なる可能性もあるため、高齢者などを対象に同様の実験を行う必要がある。

本研究で得た知見は、歩行空間を自律移動するPMVという対象をドライビングシミュレータという仮想環境で行った実験により得たものである。しかしながら、人間の認知心理に基づき不安が生起する際の特性を明らかにし、その特性に基づいて、情報提示の効果を整理したことから、他の対象へと拡張できる可能性がある。

例えば完全自動運転の導入が見込まれている自動車の搭乗者に対する情報提示への応用が想定される。また、一般的に情報提示を行う際に予期不安の発生を考慮することが重要であることや、注視対象を誘導することで不安の低減が期待できることなどの知見は、移動体に限らず、情報提示やヒューマンインターフェースの設計にも活用できると考える。

## 参考文献



## 第1章

- [1] Wan He, Daniel Goodkind, Paul Kowal, An Aging World: 2015, International Population Reports, 2016
- [2] 内閣府, "高齢化の推移と将来推計", 令和元年版高齢社会白書, (2019)
- [3] 内閣府, "障害種類別の障害者数", 障害者白書, (2013)
- [4] 内閣府, "高齢者の姿と取り巻く環境の現状と動向", 平成 29 年版高齢社会白書, (2017)
- [5] 奥野純子, ほか 3 名, "「閉じこもり」高齢者の体力と生活機能および精神健康度との関連", 体力科学, 第 52 巻, (2003), pp.237-248.
- [6] 藤田幸司, ほか 6 名, "地域在宅高齢者の外出頻度別にみた身体・心理・社会的特徴", 日本公衆衛生雑誌, 第 51 巻, 第 3 号, (2004), pp.168-180.
- [7] 新開省二, ほか 10 名, "地域在宅老人の歩行移動力の現状とその関連要因", 日本公衆衛生雑誌, 第 46 巻, 第 1 号, (1999), pp.35-46.
- [8] 内閣府, "75 歳以上の運転者による死亡事故件数及び割合", 平成 29 年交通安全覚書, (2017)
- [9] 国土交通省, "超小型モビリティについて", 超小型モビリティ導入に向けたガイドライン, (2012)
- [10] 首相官邸, "官民 ITS 構想・ロードマップ 2020", 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議, (2020)
- [11] 富沢哲雄, ほか 5 名, "グリッドマップのマッチングに基づく未知障害物にロバストな自己位置推定", 日本ロボット学会誌, 第 30 巻, 第 3 号, (2012), pp.280-286.
- [12] つくばチャレンジについて, つくばチャレンジ, <https://tsukubachallenge.jp/2ndstage/tc2013/about>, 2020 年 1 月 20 日取得
- [13] E. Crawly, et.al., "System Architecture: Strategy and Product Development for Complex Systems, First Edition", Pearson, (2016).
- [14] 原田 龍之介, 吉武 宏, 小竹 元基, 歩行者の回避挙動特性を考慮した円滑な自律移動計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2021
- [15] 吉川 貴城, 吉武 宏, 小竹 元基, 自律移動車両に対する周辺歩行者の受容性を考慮した経路計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2022
- [16] 浜崎 俊一, 吉武 宏, 小竹 元基, 電動車いすの手動運転特性を考慮した快適な自律移動の経路計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2022
- [17] 吉武 宏, 磯野 洋佑, 小竹 元基, 混雑環境における搭乗者の状況認識特性を考慮した快適な自律移動方策, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 2022

- [18] 渡辺ら, "Communicating Robotic Navigational Intentions", IEEE, (2015).
- [19] 奥本ら, 電動車椅子シートの快適性に関する研究 (設計工学・システム II), 中国四国支部総会・講演会講演論文集, (2005).
- [20] 百生ら, 乗り心地を考慮した電動車いすの制御, 日本機械学会論文集, (2004).
- [21] 樹野ら, ハンドル型電動車いすにおける全身振動ばく露量の測定と評価, 近畿大学次世代基盤技術研究所報告, (2013).
- [22] 飯山, 自律移動車いすの動作を伝えるエージェントロボットの開発, 電子情報通信学会, (2018).
- [23] 浅川ら, 自律走行車いすの搭乗者への情報提示タイミングについての考察, ロボティクス・メカトロニクス講演会, (2014).
- [24] 橋本ら, "Behavior Representation of Robotic Wheelchairs with Physiological Indices for Passenger Comfort", IEEE, (2015).
- [25] 劉 建宏ら, "パーソナルスペースを用いた障害物を回避する歩行者の群衆流動", (2008).
- [26] 中山ら, 超小型モビリティの車内音環境に対する快適性向上に関する研究, 日本機械学会環境工学総合シンポジウム, (2020).
- [27] 磯野洋佑, 歩行空間におけるパーソナルモビリティ自律移動時の快適設計, 東京大学卒業論文集, 2020.
- [28] 田代信維: 不安と葛藤—神経症性障害と身体表現性障害—, 九州大学出版会, 2004, 210p.
- [29] 遠山尚孝・尾崎真理子: 不安の心理 河野友信・風祭元 (編) 不安の科学と健康 朝倉書店, 1987, p.20-29
- [30] 文部科学省: 「安全・安心な社会の構築に資する科学技術政策に関する懇談会」報告書, p.6-7 (2004)
- [31] 嶋田 淳, 河原 健太, 城戸 恵美子, 朴 信映, 吉武 良治, 自動運転車両における運転者の不安感評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 2017, 19 巻, 4 号, p. 333-342
- [32] ] 中谷内一也: 安全。でも、安心できない… 信頼をめぐる心理学, ちくま新書, (2008).
- [33] 中谷内一也: 信頼学の教室, 講談社現代新書, (2016).
- [34] 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, Vol.48, No.1, (2017).
- [35] Roseman, I. J., A model of appraisal in the emotion system: Integrating theory, research, and applications, In K. R. Scherer, A. Schorr, T. Johnstone (Eds.), Appraisal

processes in emotion, Oxford University Press, pp. 68 – 91, (2001).

- [36] Lazarus, R. S., Folkman, S., ” Stress, appraisal, and coping” , Springer Publishing Company, (1984).
- [37] 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, Vol.134, No.10, 2021

## 第2章

- [38] Gratch, Jonathan, Marsella, Stacy, Mao, Wenji., Towards a Validated Model of "Emotional Intelligence", Conference: Proceedings, The Twenty-First National Conference on Artificial Intelligence and the Eighteenth Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, 2006.
- [39] Scherer, K., R., “Appraisal considered as a process of multilevel sequential checking”, Appraisal process in emotion: Theory, methods, research, Oxford University Press, pp.92-120, 2001
- [40] Gratch, Jonathan, Marsella, Stacy, Mao, Wenji. 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.
- [41] Jakob H, “予測する心”, 佐藤亮司訳, 勁草書房, 2021
- [42] Treisman, “Features and Objects in Visual Processing” , Scientific American, 1986
- [43] 熊田ら, ” 高齢者の注意・ワーキングメモリ・遂行機能と認知的インターフェース”, 心理学評論 2009.
- [44] Yiend J., The effects of emotion on attention: A review of attentional processing of emotional information, Cognition and Emotion, Psychology Press, pp.65, (2010).
- [45] Heitmann, Janika, Bennik, Elise, Van Hemel-Ruiter, Madelon, Jong, Peter. (2018). The effectiveness of attentional bias modification for substance use disorder symptoms in adults: A systematic review. Systematic Reviews. 7. 10.1186/s13643-018-0822-6.
- [46] Fox E, Russo R, Bowles R, Dutton K. Do threatening stimuli draw or hold visual attention in subclinical anxiety? J Exp Psychol Gen. 2001 Dec;130(4):681-700.
- [47] 高橋 雅延, 感情と記憶と認知, 基礎心理学実験法ハンドブック, 日本基礎心理学会, pp.256-257, 2018.
- [48] 清水 豊, 感覚情報の知覚メカニズム, 繊維製品消費科学, 28 巻, 7 号, p. 266-270,

1987

- [49] SK Card et.al, “The psychology of human-computer interaction” (2018) cite: <https://www.evl.uic.edu/aej/578/week3.html>
- [50] Y. LIU et.al, “Queueing Network-Model Human Processor(QN-MHP): A Computational Architecture for Multitask Performance in Human-Machine Systems”, Biologically Inspired Cognitive Architectures, 2013
- [51] C. Wu et.al, “Development of an Adaptive Workload Management System Using the Queueing Network-Model Human Processor (QN-MHP)” IEEE 2008
- [52] Baddeley, A., Logie, R., Bressi, S., Sala, S. D., Spinnler, H. (1986). Dementia and Working Memory. The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 38(4), 603 – 618.
- [53] Akira Miyake, Naomi P. Friedman, Michael J. Emerson, Alexander H. Witzki, Amy Howerter, Tor D. Wager, The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis, Cognitive Psychology, Vol. 41, Issue 1, pp. 49-100, 2000.
- [54] 宮谷 真人, ワーキングメモリ測定法, 基礎心理学実験法ハンドブック, 日本基礎心理学会, pp.232-233, 2018.
- [55] Isabelle Blanchette, Anne Richards (2010) The influence of affect on higher level cognition: A review of research on interpretation, judgement, decision making and reasoning, Cognition and amp; Emotion, 24:4, 561-595
- [56] Johnson, E. J., Tversky, A. (1983). Affect, generalization, and the perception of risk. Journal of Personality and Social Psychology, 45(1), 20 – 31
- [57] 近藤 駿介, 鳴海 拓志, 小野 佐弥香, 不破本 義孝, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, 自動運転システムにおける未来予測位置提示手法の基礎検討, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI), 24 号, pp.1-5, 2018
- [58] 五十嵐 功ら, レベル 2 運転支援システムにおけるドライバの能動的運転介入を促す HMI の検討, 自動車技術会 2021 年春季大会, pp.1-6, 2021
- [59] Campbell J et.al “Human Factors Design Guidance For Driver-Vehicle Interfaces” 2016
- [60] M. Kitajima, M. Toyota : “Decision-making and action selection in Two Minds: An analysis based on Model Human Processor with Realtime Constraints (MHP/RT)”, Biologically Inspired Cognitive Architectures, Vol.5, pp.82-93, (2013)
- [61] Evans, J. St. B. T., Stanovich, K. E., Dual-Process Theories of Higher Cognition: Advancing the Debate. Perspectives on Psychological Science, 8(3), pp.223 – 241.

(2013).

### 第3章

- [62] Microsoft 社公式ホームページ Hololens 2, <https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware/>
- [63] Jongseong Gwak, Hiroshi Yoshitake, Motoki Shino, Effects of visual factors during automated driving of mobility scooters on user comfort: An exploratory simulator study, *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 81, 2021, Pages 608-621
- [64] 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*, Vol.29, No.3, (1993).
- [65] トビー・テクノロジー社公式ホームページ, <https://www.tobii.com/ja/product-listing/tobii-pro-glasses-2/>
- [66] Lubet, M., Stork, J., Tipaldi, G. D., Arras, K., " People Tracking with Human Motion Predictions from Social Forces." 464-469. 10.1109/ROBOT.2010.5509779. (2010).
- [67] Helbing, D., Molnar, P., "Social force model for pedestrian dynamics," *Physical Review E*, Vol. 51, pp.4282-4286, (1995).
- [68] Hall, E. T., "The hidden dimension," New York:Doubleday, (1966).
- [69] 高柳 英明, 長山 淳一, 渡辺 仁史, 歩行者の最適速度保持行動を考慮した歩行行動モデル: 群衆の小集団形成に見られる追跡-追従相転移現象に基づく解析数値, *日本建築学会計画系論文集*, 71 巻, 606 号, p. 63-70, (2006).
- [70] Coltheart, M. Iconic memory and visible persistence. *Perception and Psychophysics* 27, 183 – 228, (1980).
- [71] Salvucci, D. D., Goldberg, J. H., Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In *Proceedings of the 2000 symposium on Eye tracking research and applications*, pp. 71-78, (2000).
- [72] Alex, P., Linden J. B., Eye Tracking in HCI and Usability Research, *Encyclopedia of Human Computer Interaction*, pp.9 (2006).
- [73] Albert, W., Do web users actually look at ads? A case study of banner ads and eye-tracking technology. In *Proceedings of the Eleventh Annual Conference of the Usability Professionals' Association*, (2002)
- [74] Hauland, G., Measuring team situation awareness by means of eye movement data. In *Proceedings of HCI International 2003: Vol 3*, pp. 230-234, (2003).

- [75] Mello-Thoms, C., Nodine, C. F., Kundel, H. L., What attracts the eye to the location of missed and reported breast cancers? In Proceedings of the Eye Tracking Research and Applications Symposium 2002 pp. 111-117, (2004).
- [76] Krejtz, K., Duchowski, A. T., Krejtz, I., Kopacz, A., Chrzastowski-Wachtel, P., Gaze transitions when learning with multimedia, *Journal of Eye Movement Research*, Vol. 9, No.1, pp. 1-17, (2016).
- [77] Ciuperca, G., Bernard, C., On the estimation of the entropy rate of finite Markov chains, In Proceedings of the international symposium on applied stochastic models and data analysis, pp. 1109-1117, (2005).
- [78] 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).

#### 第 4 章

- [79] 大上 渉, 箱田 裕司, 大沼 夏子, 凶器の視覚的特徴が目撃者の認知に及ぼす影響, *心理学研究*, 2006-2007, 77 巻, 5 号, p. 443-451
- [80] Tomoe Nobata, Yuji Hakoda, Yuri Ninose (2010) The functional field of view becomes narrower while viewing negative emotional stimuli, *Cognition and Emotion*, 24:5, 886-891

#### 第 5 章

- [81] D. Fox, W. Burgard, and S. Thrun, "The dynamic window approach to collision avoidance," *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 4, no. 1, pp. 23 – 33, 1997
- [82] Peter Trautman, Andreas Krause, "Unfreezing the Robot: Navigation in Dense, Interacting Crowds", *The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, (2010).
- [83] 黄 楊暘, 杉山 治, 大塚 琢馬, 奥乃 博, 追体験メディアにおける注意誘導の呈示手法, *情報処理学会第 76 回全国大会*, pp493-494, 2014
- [84] 水戸部 一孝, 秋山 勉, 吉村 昇, 高橋 誠, 伊福部 達, 聴覚刺激による空間的注意の誘導効果, *映像情報メディア学会誌*, 1997, 51 巻, 6 号, p. 850-856
- [85] 林 織部, 西村 邦裕, 阿部 浩二, 谷川 智洋, 廣瀬 通孝, 大量動画視聴における注意誘

- 導に関する研究 (人工現実感、及び一般), 映像情報メディア学会技術報告, 2009, 33.21 巻, セッション ID HI2009-105, p. 85-90
- [86] Posner, M. I., Snyder, C. R., Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160 – 174
- [87] 松田 幸久, 復帰抑制と注意の慣性による促進効果, *Journal of Human Environmental Studies*, Vol.10, No.2, 2012.
- [88] 十河 宏行, 眼球運動の種類, 基礎心理学実験法ハンドブック, 日本基礎心理学会, pp.404-407, 2018.
- [89] Collewyn H, Tamminga EP, Human smooth and saccadic eye movements during voluntary pursuit of different target motions on different backgrounds. *J Physiol* 351, pp. 217 – 250, 1984.
- [90] G. Queguiner, M. Fradet and M. Rouhani, "Towards Mobile Diminished Reality," 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), Munich, Germany, pp. 226-231, 2018.

## 謝辭



本研究を行うにあたって多くの方々のお世話になりました。この場を借りて感謝を述べさせていただきます。

まずは指導教員の小竹元基準教授には学部時代に引き続き、研究者としての心構えや考え方、知識の身につけ方を教えていただきました。これらのノウハウは今後自分が企業にて研究開発を行う上で必ず役立つものであり、それを見越したご指導をしていただき大変感謝しております。お忙しい中でも我々学生の研究と真摯に向き合い、この大所帯な研究室を取りまとめ、盛り上げてきた小竹先生のマネジメント力は非常に尊敬しており、今後の社会人生活でも見習い、活かしていきたいと考えております。この研究室で教わった研究の基礎を踏まえて、これからも成長していきます。

二瓶美里准教授には研究会で様々な角度から研究に対するアドバイスをいただきました。自分が当たり前だと思っている領域を疑い、新しい切り口を検討することの大切さと面白さを教わりました。今後も研究で煮詰まったときは、論理的な説明がしやすい箇所だけを深掘するのではなく、自分がどの要素に面白さを感じていたのかを思い出し、自分の研究のモチベーションに立ち返って研究を行いたいと思います。ご指導ありがとうございました。

また吉武宏特任助教には幾度となく研究の質問や考え方の壁打ちをさせていただきました。この分野を研究する上で必要となる知識や考察のアイディアの共有のみならず、実験機材の細かな仕様説明までしていただきました。お忙しい中でもそれを態度や表情に出さず、学生が気楽に相談できるよう数々の配慮をしていただいたこと、大変感謝しております。

研究室では先生方以外にも同期や後輩に精神面で支えられました。特に修士2年の同期とは共に研鑽したことや、メンタルが落ちてしまった時に励ましてくれたりなど、非常に心の支えとなりました。本当にありがとうございます。私は学部の卒業論文を書くにあたって、当時の先輩方到大変お世話になりました。この研究室では先輩から受けた恩は後輩に返すという風潮があるため、後輩の研究相談に積極的に乗ってきました。相談に乗る中で相手の問題解決だけでなく、自分の知識が整理され、修士論文を書く際にも活きていると感じており、後輩に対しても感謝しています。

研究室以外でも、サークルや同クラの学友にも支えられました。数々の人生相談に乗っていただいたり、気分転換で一緒に遊びに行ってくれたりなど、修士研究を最後までやり切るうえで欠かせない存在でした。

最後に、両親にも感謝を伝えたいと思います。父親には、祖父から代々伝わる家業を継がせたかったにもかかわらず、大学のみならず大学院への進学を了承していただき、

家計が厳しい中でも子供の教育に対して金銭的なサポートをしていただき大変感謝しております。また母親には幼少期から知的好奇心を育む教育をしていただきました。この知的好奇心こそが自分の研究の原動力になっていました。そして、今後の人生においても自分が立ち返るべき原点になると考えています。私は就職活動の採用面接にて自分を「知的好奇心の奴隷」と形容しました。これからも人生で迷った際には自分の知的好奇心に従って選択していきたいと思います。ここまで育てていただいた両親には感謝が尽きません。大変お世話になりました、ありがとうございます。

原田 龍之介

## 付録 A:予備実験 A

## 実験概要

### 実験目的

自律移動体搭乗者に情報提示を行う手段として MR グラスを検討すること。

### 実験目標

DS 環境下で MR グラスを用いて情報提示を行った場合、情報提示をスクリーンに直接投影したときと同様に搭乗者の不安が低減するのかを調べる。

### 実験装置

MR グラスは Hololens 2 を使用した。Hololens 2 のが核は横方向に  $43^{\circ}$ 、縦方向に  $29^{\circ}$  である。その他の実験装置は第 3 章の実験と同様のものを用いた。走行シーンのみを DS を用いて再現し（図 1）、情報提示は Hololens 2 を用いて投影した（図 2）。



図 1 第三者視点の実験風景



図 2 実験参加者視点の実験風景

## 実験参加者

本実験に参加するのは、20 代男性の大学生及び大学院生 3 名（A-C）である。

## 実験方法

### 実験条件

走行シーン A を用いて、None, Pa01, Pa03, Fo01, Fo03 の 5 条件で実験を行った。

### 計測項目

第 3 章の実験と同様に不安に対する 7 段階の主観評価を取得した。

## 実験結果と考察

各実験参加者の不安評価を図 3 に示す。図 3.11 と比較すると、情報提示による不安低減効果があり表れていないことが分かる。特に 1 秒先の情報を提示した Pa01 と Fo01

の条件で不安の低減に失敗している。これは MR グラスの視野角が原因であると考えられる。図 4 は Pa01 を投影した際の MR グラスによるスクリーンショット画像である。MR グラスの表示可能画角の問題から Fo01 の先端しか投影できておらず、搭乗者が少し上を向けば情報提示が消えてしまうことが分かる。このことから MR グラスでは情報提示の効果が十分に発揮できず、特に 1 秒先の情報を投影した条件にて不安を低減させることができなかったと考えられる。

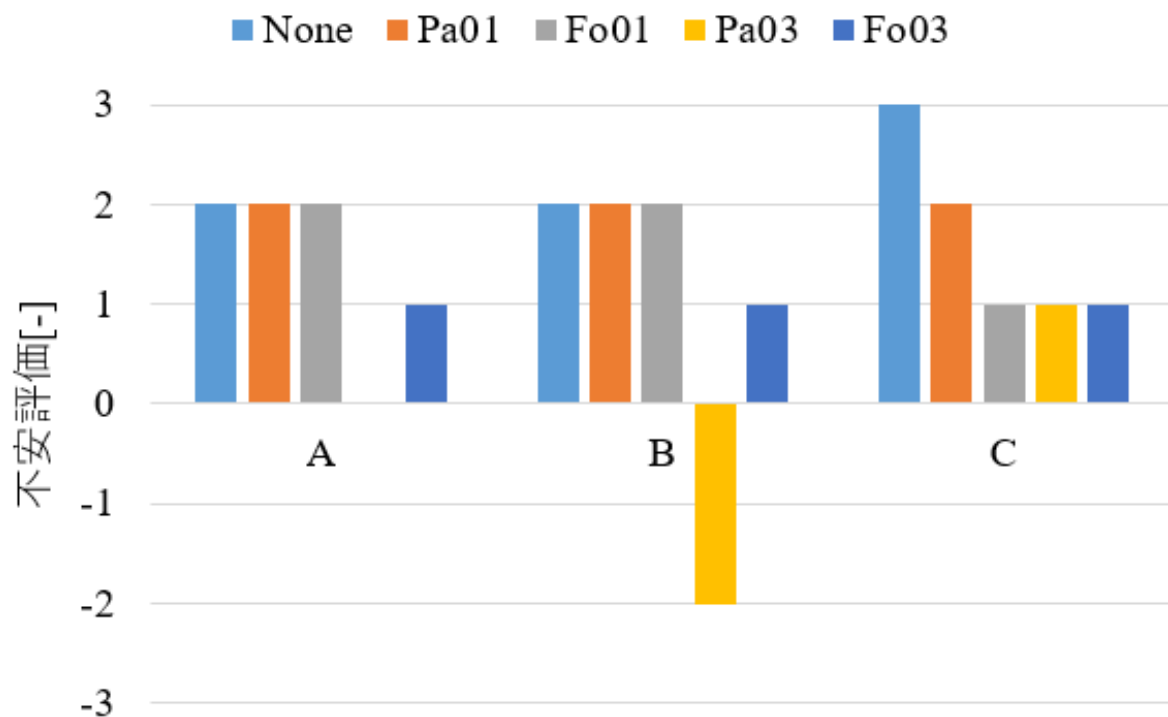


図 3 MR 実験の主観評価

## まとめ

以上のことから本研究では、現状の MR グラスの視野角では搭乗者の不安を低減させるには不十分であると判断し、DS のスクリーンに直接情報提示を行うことで、技術的な制約条件と分離して情報提示の要求機能を調べることにした。



図 4 MR 実験における Pa01 の情報提示

## 付録 B: 予備実験 B



## 実験概要

### 実験目的

走行シーン A の視行動分析区間を設定すること

### 実験目標

走行シーン A にて不安生起するタイミングを計測すること。

### 実験装置

不安生起の時間変化を測定するために第 4 章と同様のスイッチを用いた。その他の実験装置は第 3 章の実験と同様のものを用いた。

### 実験参加者

本実験に参加するのは、20 代男性の大学生及び大学院生 3 名（A-C）である。

## 実験方法

### 実験条件

走行シーン A を用いて、情報提示を行わない None の条件で実験を行った。

### 計測項目

不安生起時にスイッチを押してもらい、不安の時間変化をプロットした。

## 実験結果

各実験参加者の不安の時間変化を図 5 に示す。区間 S1 は歩行者接近により生起した不安であり、区間 S2 は車両の挙動から生起した不安であることを実験参加者のコメントから聴取している。また、S3 は走行体験終了時の急停車に伴う不安生起であることを同様にコメントから確認したため、実験環境の要因で生起した不安であることから今回

の結果からは除外する。区間 S1 の中でも、特に不安が生起した区間 S1' として区間 S2 と同じ秒数だけ抽出し、これらの区間を視行動分析区間として設定した。

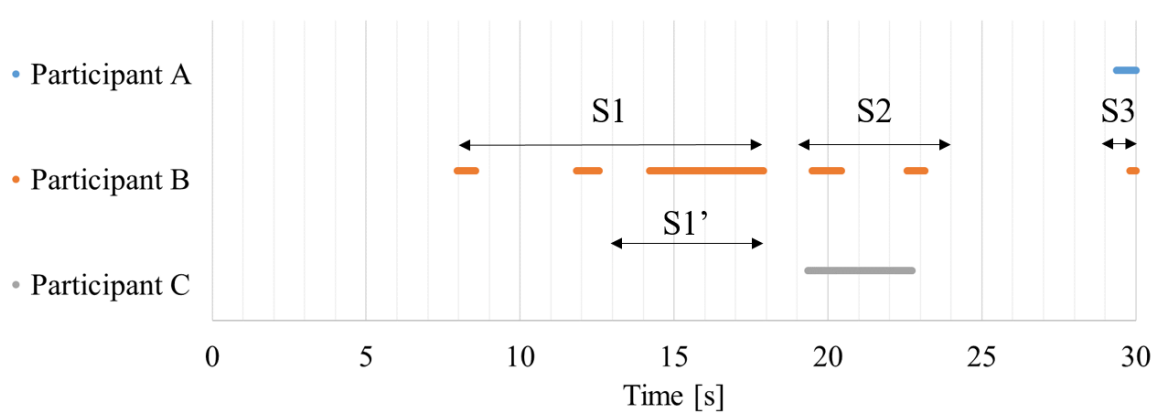


図 5 不安の時間変化

## まとめ

本実験では不安の生起タイミングを計測し、不安生起が確認された区間の中から視行動分析を行う対象区間を設定した。

以上

通し番号 1 ～ 111 完

修士論文

令和5年2月7日提出

47216690 原田 龍之介

# 修士論文

## 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

通し番号 1 ～ 111 完

令和5年2月7日提出

指導教員 小竹 元基 准教授

47216690 原田 龍之介