

修士論文

自動走行ストレス要因推定のための 搭乗者の生体情報と走行環境データ収集システムの構築

松本 慎太郎

2019 年 3 月 14 日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報科学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
修士（工学）授与の要件として提出した修士論文である。

松本 慎太郎

審査委員：

萩田 紀博 教授 （主指導教員）

小笠原 司 教授 （副指導教員）

神原 誠之 准教授 （副指導教員）

自動走行ストレス要因推定のための 搭乗者の生体情報と走行環境データ収集システムの構築*

松本 慎太郎

内容梗概

自動走行環境における搭乗者は、運転動作から解放されることによって、自動走行ストレスと呼ばれる自動走行システムに対しての不安や恐怖を感じる。自動走行車両の継続利用のためには、自動走行ストレスの要因を実時間推定し、ストレスを軽減する必要がある。ストレス要因の実時間推定は、搭乗者の生体情報をもとに行うことができるが、情報遅延などの課題から実現は難しい。しかし、車両の走行環境データと搭乗者のストレス情報との関係を学習することにより、ストレス要因の実時間推定が可能になると考えられ、そのためには、それらのデータの大規模な収集が必要である。既存研究では、自動走行ストレスの要因推定を行うための、車両の走行環境情報や搭乗者のストレス情報が含まれる大規模なデータセットの収集が行われておらず、そのための手法も構築されていない。本研究では、自動走行ストレスの発生要因を推定するための、自車の挙動情報・車両の外部環境情報・搭乗者の生体情報からなるデータセットを定義し、そのデータセットを簡便に収集可能なフレームワークを提案する。データ収集実験では、実車を用いた擬似自動走行環境や自動走行環境において、計6名の被験者に対してスマートフォンや生体情報センサを用いたデータ収集を行う。収集したデータセットを用いて自動走行ストレスの要因推定が可能であることを示すことで、提案するフレームワークの有効性について述べる。

キーワード

自動走行車，快適性，自動走行ストレス，生理指標

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報科学専攻 修士論文, 2019 年 3 月 14 日.

Physiological Indexes of Passenger and Driving Data Collection System for Autonomous Vehicle Stress Estimation*

Shintaro Matsumoto

Abstract

Passengers feel anxiety and fear of autonomous driving systems by releasing from the driving operation in an autonomous driving environment. These discomfort factors in autonomous vehicle is called Autonomous Vehicle Stress. In order to continue uses autonomous driving vehicles, it is necessary to estimate and to reduce stress factors in autonomous environments. Real-time stress estimation can be performed based on passenger's physiological indexes, however, it is difficult to measure data due to delay problems in the real environment. To solve this problem, learning data of driving environment and stress information of passengers for real-time stress estimation can be one of the solutions. For the estimation purpose, large-scale data collection is necessary. In the previous research, for Autonomous Vehicle Stress estimation, large-data collection method about driving environment and passenger's stress factors are not developed yet. In this research, we propose a framework for a dataset consisting of vehicles behavior, external environment and physiological indexes of passengers for Autonomous Vehicle Stress estimation. In the experiment, we collect dataset using a smartphone and physiological indexes sensor of 6 subjects in a pseudo autonomous driving environment and autonomous driving environment. From the results, this study shows the effectiveness of the proposed framework by estimating factors of autonomous driving stress using the dataset.

*Master's Thesis, Department of Information Science, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, March 14, 2019.

Keywords:

Autonomous Vehicle, Passenger Comfort, Autonomous Vehicle Stress, Physiological Indexes

目次

図目次	v
第 1 章 はじめに	1
第 2 章 自動走行環境の搭乗者に発生するストレスに関連する研究と本研究の位置づけ	4
2.1 コンフォート・インテリジェンス (Comfort Intelligence)	4
2.2 自動走行ストレス	7
2.2.1 自動走行ストレス要因の分類・推定に関する研究	7
自動走行ストレスの要因分類	7
自動走行ストレスの要因推定	8
2.2.2 自動走行ストレスの軽減に関する研究	8
挙動制御によるストレス軽減	9
情報提示によるストレス軽減	10
2.3 快適性評価のためのストレス計測	11
2.3.1 主観的指標によるストレス評価	11
2.3.2 客観的指標によるストレス評価	12
2.4 本研究の位置づけ	16
第 3 章 自動走行ストレスの要因推定のためのデータ収集フレームワーク	18
3.1 自動走行ストレスの要因推定のためのデータセット	18
3.2 データ収集フレームワーク	19
第 4 章 自動走行ストレス要因推定のためのデータ収集実験	24
4.1 疑似自動走行環境下でのデータ収集実験	24
4.1.1 実験環境	24
4.1.2 実験結果	26
4.1.3 考察	29
4.2 自動走行環境下でのデータ収集実験	32

4.2.1	実験環境	32
4.2.2	実験結果	34
4.2.3	考察	36
4.3	ストレス要因推定データ収集実験のまとめ	38
第 5 章	終わりに	40
	謝辞	41
	参考文献	42
	発表リスト	48

図目次

2.1	自動走行モビリティの社会受容へ向けたコンフォート・インテリジェンスの概念 [14]	6
2.2	車載映像からのストレス要因推定（左：車載映像，右：ストレス要因推定結果） [29]	9
2.3	ストレス刺激の強度・持続時間と生体情報反応との関係 [30]	13
2.4	心拍センサ [36] を用いた心拍情報の取得例	14
2.5	発汗センサ [37] を用いた皮膚電気活動情報の取得例	15
2.6	高度運転自動化された環境 [55]	17
2.7	無拘束体動センシング技術 Airtomo –エアリトモ– [56]	17
3.1	自動走行ストレス要因推定のためのデータ収集フレームワーク	20
3.2	生体信号取得用シングルボードコンピュータ BITalino[58]	23
4.1	疑似自動走行下での車内環境（平面図）	25
4.2	疑似自動走行車両の走行経路（地図データ@ 2019 Google, ZENRIN）	26
4.3	実車におけるデータ収集の様子	27
4.4	疑似自動走行環境において一走行で発生した車両加速度（上：左右加速度，下：前後加速度）	28
4.5	疑似自動走行環境下での一走行あたりの車両加速度と生体情報（EDA）との関係	29
4.6	図 4.5 中の (3), (9) における外部環境情報	30
4.7	図 4.5 中の (6), (12) における外部環境情報	31
4.8	実験に使用した自動走行ゴルフカート	32
4.9	自動走行下での車内環境（平面図）	33
4.10	自動走行ゴルフカートの走行経路（地図データ@ 2019 Google, ZENRIN）	33

4.11	自動走行環境において一走行で発生した車両加速度（上：左右加速 度，下：前後加速度）	35
4.12	自動走行環境下での一走行あたりの車両加速度と生体情報（EDA） との関係	36
4.13	図 4.12 中の (4), (10) における外部環境情報	37
4.14	図 4.12 中の (3), (9) における外部環境情報	38

第 1 章 はじめに

センシング技術・制御技術の急速な発達により，自動車をはじめとした様々なモビリティの自動走行化が現実のものとなってきている [1]．日本においては，2020 年の東京オリンピック・パラリンピック競技大会や 2025 年度の大阪万博での自動走行システムの試用を目指して，自動車メーカーやベンチャー企業に加えて，内閣府などが自動走行システムを含む ITS（Intelligent Transport Systems: 高度交通システム）に関する研究開発の事業を推進している [2, 3, 4]．最近では，株式会社 ZMP と日の丸交通株式会社が共同で実施した，自動走行タクシーを用いた公道サービス実証実験 [5] や，内閣府による大規模な実証実験 [6] など，ITS に関連する技術の実用例も増えてきている．また，自動走行化に関する技術開発は，自動車や電動車椅子といった人の移動支援を目的としたモビリティだけでなく，貨物などの輸送支援を目的としたゴルフカートやトロリー，作業支援を目的とした無人トラクターなど，様々な用途のモビリティへと応用が期待されている [7, 8]．

現在の ITS を巡る技術や産業は，交通事故防止やサイバーセキュリティ等を目的とした「安全性」や，最適な経路計画やエネルギー消費，また，社会的な渋滞緩和などを目的とした「効率性」を主眼とするものが多いという特徴がある [9]．しかし，AAA（American Automobile Association: 全米自動車協会）によって，2018 年 5 月に公開された調査結果によると，「米国のドライバーの 73% は完全自動運転の自動車に乗ることを恐れている．」と報告されており，その割合は前年の調査よりも増加している [10]．このことから，たとえ十分な安全性や効率性が確保された自動走行の技術が確立したとしても，自動走行システムに対する恐怖感などの不快要因が搭乗者に発生することにより，搭乗者が継続的な利用を断念することで，自動走行モビリティの社会実装・継続利用が妨げられる可能性があると考えられる．

自動走行の技術を扱う分野においては，表 1.1 に示すように，その状態に応じて，レベル 0 からレベル 5 まで 6 段階の分類が定義されている [11]．特に，将来的に実現するレベル 4・レベル 5 などの高度な運転自動化がなされる環境においては，運転の主体が運転手からシステムへと移行し，従来の運転手が運転から解放され，搭乗者の一人となる．このような背景からも，自動走行レベルが上がるに伴って，搭乗者に発生する不安感や恐怖感も増加すると考えられ，高度な運転自動化がなされ

たモビリティが社会的に受容されるためには、これらの精神的な不快要因を軽減し、取り除くことが重要であるといえる。そのためには、搭乗者に発生する不安感や恐怖感がどのようなものに起因して発生しているかを推定し、その推定結果に応じた軽減手法を講じる必要がある。

本研究では、運転から解放されることにより、自動走行モビリティの搭乗者に生じる不安感・恐怖感である「自動走行ストレス」について、その発生要因を、車両の走行環境情報と搭乗者の生体情報から推定することを目的とする。そのための手法として、スマートフォンと生体情報センサを用いて要因推定に必要なデータセットを簡易に集めることが可能なフレームワークを提案し、提案するフレームワークを用いて収集されたデータから、自動走行ストレス要因の推定が可能であるか検証する。

本論文の構成は次の通りである。2章では、自動走行に関する研究分野において、主に搭乗者の快適性に着目した関連研究について述べ、それらを踏まえた本研究の位置づけについて述べる。3章では、自動走行ストレスの要因推定に必要なデータセットおよびそれらを収集するためのフレームワークを提案し、4章で、自動走行ストレスの発生要因を推定するためのデータ収集実験について述べる。最後に、5章で本研究のまとめと今後の展望について述べる。

表 1.1 NHTSA による自動走行レベルの定義と概要 [11]

レベル	概要	運転の主体
レベル 0	運転手が全ての運転タスクを実施	運転手
レベル 1	システムが前後、左右のいずれかの車両制御を実施 (運転支援)	運転手
レベル 2	システムが前後、左右の両方の車両制御を実施 (部分運転自動化)	運転手
レベル 3	限定領域内で、システムが全ての運転タスクを実施 緊急時にはドライバーが対応 (条件付き運転自動化)	システム
レベル 4	限定領域内で、システムが全ての運転タスクを実施 (高度運転自動化)	システム
レベル 5	システムが全ての運転タスクを実施 (完全運転自動化)	システム

第 2 章 自動走行環境の搭乗者に発生するストレスに関連する研究と本研究の位置づけ

自動走行するモビリティにおいて、その自動走行システムに安全性や効率性が確保されていたとしても、搭乗者が必ずしも心地よさを感じるとは限らないとされる [12]。このことから、自動走行モビリティにおいては、従来では存在し得なかった快適性の阻害要因が発生すると考えられ、今後、自動走行するモビリティが社会実装され、それらが継続的に利用されるようになるためには、搭乗者にとって快適性を阻害する要因を取り除くことが重要であると考えられる。

本章では、本研究に関連する研究について、はじめに、自動走行するモビリティの搭乗者に発生する不快要因を取り除き、搭乗者の快適性を向上させることを目的とした枠組みとして提案されている、コンフォート・インテリジェンスについて述べる。次に、コンフォート・インテリジェンスが対象としている、自動走行モビリティの搭乗者における精神的な快適性の低減要因である自動走行ストレスについて、その要因推定に関する研究および軽減手法に関する研究について述べる。最後に、それらを踏まえた本研究の位置づけを述べる。

2.1 コンフォート・インテリジェンス (Comfort Intelligence)

自動走行モビリティが社会に受容されるためには、安全性や効率性を確保するだけでなく、搭乗者の快適性を阻害する要因を取り除くことが重要である。澤邊らは、自動走行システムが、搭乗者との密なインタラクションを通して、必要な情報やサービスを提供するだけでなく、本当の意味での心地よさ（快適な状態）を感じさせるための知能である、コンフォート・インテリジェンス（快適化知能）と呼ばれる概念を提案している [13, 14]。ここで快適とは、心身に痛みや苦しみを与える不快要因がなく、楽しく、リラックスした状態である [15]。

コンフォート・インテリジェンスの概念では、図 2.1 に示すように、利用者が自動走行モビリティに初搭乗した際に感じる不快要因から、車内空間でのエンターテインメントなどによって生じる不快要因まで、自動走行モビリティが継続利用されるまでに生じるさまざまな不快要因を対象としている。図 2.1 内の黄色枠に示すよ

うに、自動走行モビリティに初搭乗する人の多くは、車両挙動や周りの環境に起因する不安や恐怖からストレスを感じる。このストレスは、搭乗者にとって精神的な快適性の低減要因となり、自動走行ストレス (Autonomous Vehicle Stress) と定義される。自動走行ストレスによる不快感が軽減すると、不安感や恐怖感がなくなり、車内空間は搭乗者が自由行動をとる環境となりうる [16]。また、自動走行モビリティには、情報提示やエンターテインメントを目的としてヘッドアップディスプレイ (Head-Up Display: HUD) などが搭載されることが予測され [21]、これによって車内空間は VR 環境に近づくと考えられる。図 2.1 内の紫色枠に示すように、搭乗者の自由行動や VR 環境による影響などから、車内空間は従来よりも動揺病が発症しやすい環境となる [17]。このように、自動走行環境で発生する搭乗者にとっての生理的な快適性の低減要因である新たな動揺病は、自動走行酔い (Autonomous Vehicle Motion Sickness) と定義される。ここまで述べたように、コンフォート・インテリジェンスの枠組みにおいては主に、自動走行モビリティの社会的受容性という観点から、その搭乗者に発生する自動走行ストレスと自動走行酔いという二つの不快要因を対象とし、それらの解析・推定および軽減・抑制手法の提案を行っている。

本研究では、コンフォート・インテリジェンスの枠組みのうち、自動走行ストレスについて取り扱う。次節では自動走行ストレスについてその概要と要因推定に関する研究および軽減手法に関する研究について述べる。

コンフォート・インテリジェンス (快適化知能)

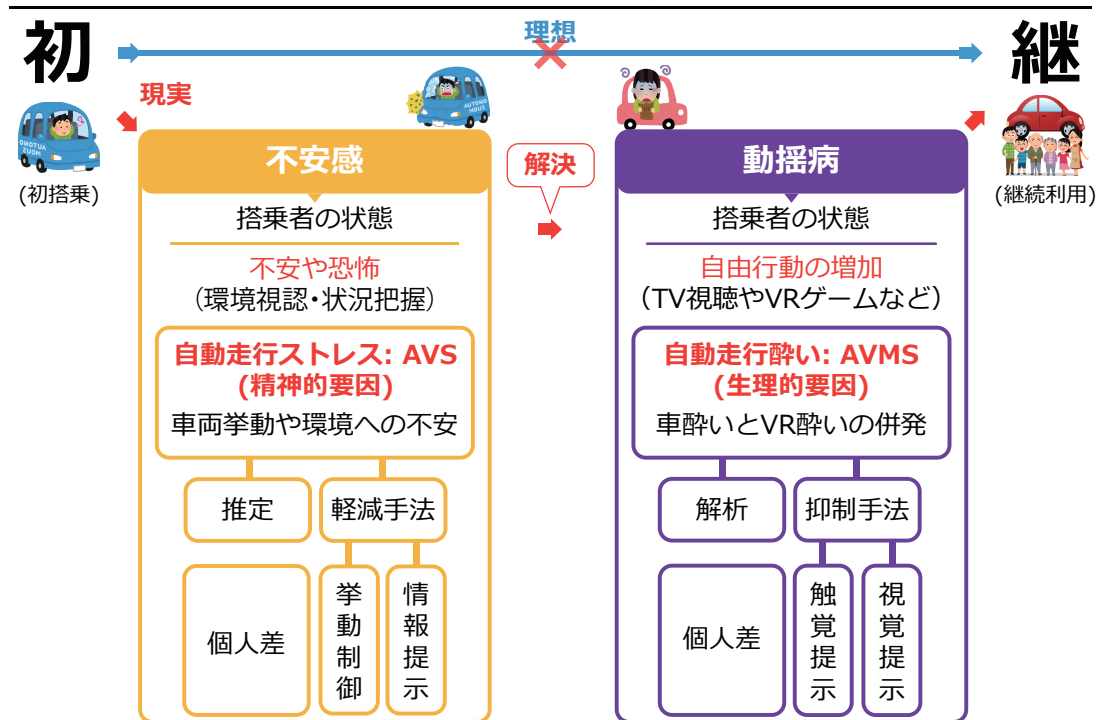


図 2.1 自動走行モビリティの社会受容へ向けたコンフォート・インテリジェンスの概念 [14]

2.2 自動走行ストレス

初めて自動走行するモビリティに搭乗する際、人はその自動走行システムに対して、不安や恐怖を抱くとされる [18, 19]. これらの自動走行モビリティの搭乗者に発生する不安や恐怖は、自身の理想と異なる車両挙動の発生や周囲環境における障害物の存在に起因するとされ、このように自身が運転から解放されることによって発生する、搭乗者にとっての精神的な快適性の低減要因は「自動走行ストレス (Autonomous Vehicle Stress)」と定義される [20].

自動走行モビリティが社会的に受け入れられ、継続利用がなされるためには、自動走行ストレスの軽減が必要であり、そのためには、自動走行するモビリティに搭乗する際に搭乗者に発生するストレスの要因推定、また、それらの要因に対してのストレス軽減手法が必要となる.

2.2.1 自動走行ストレス要因の分類・推定に関する研究

本節では、自動走行ストレスの発生要因に関して、その分類・推定を行うことを目的とした研究について述べる.

自動走行ストレスの要因分類

太田らは、自動走行モビリティに搭乗する際に、その搭乗者に発生するストレス要因を分類する取り組みを行っている [20]. この研究では、擬似自動走行（手動の運転における走行）環境下において、搭乗者に生じるストレスを生理指標により計測することで調査し、自動走行モビリティの搭乗者に発生するストレス要因を、そのストレス低減に必要な情報の種類で、次の 3 因子に分類している.

- (1) 自車の挙動要因（速度、経路 など）
- (2) 静的な外部環境要因（標識、ガードレール、建物 など）
- (3) 動的な外部環境要因（歩行者、対向車、他の移動体 など）

(1) に示す自車の挙動要因には、車の挙動による速度や加速度変化のタイミングや量、急な経路変更などの主に自動走行モビリティの挙動に起因するストレスが含まれる. (2) に示す静的な外部環境要因には、壁や障害物などの静的な外部環境との

接近や衝突の可能性に起因するストレス要因が含まれる。例えば、路地裏を走行する際に、車が壁を擦らないかなどのストレスである。(3)に示す動的な外部環境要因には、歩行者や車などの他の動的な外部要因との接近や衝突予測に起因するストレス要因が含まれる。例えば、走行中に前方に歩行者がいた際、自動走行車はその歩行者を認識しているのか、また認識している場合は、どのような挙動を取るのかというストレスである。

これらのストレス要因は(1),(2),(3)の順で、ストレス低減のために必要な情報量が多くなる。(1)に示す自車の挙動要因によるストレスは、車両挙動を改善したり、自車の挙動情報を搭乗者に情報提示を行うことで軽減することができる。(2)に示す静的な外部環境要因によるストレスを軽減するためには、自車の挙動情報に加えて、信号や標識などの環境情報が必要となる。また、(3)に示す動的な外部環境要因によるストレスを軽減するためには、これらに加えて、対向車や歩行者などの外部要因の情報が必要となる。具体的なストレスの軽減手法については、次節で述べる。

自動走行ストレスの要因推定

萩原らは、動的な外部要因によって発生するストレスを推定することを目的として、走行中に撮影された車載カメラ映像からストレス要因を推定する手法を提案している。この研究では、車載カメラで撮影した走行映像を被験者に視聴してもらうことで、その映像に存在する自動車や自転車などの動物体のうち、人がストレスを感じる要因に関するデータを収集している[29]。そして、車載カメラで撮影された走行映像とマニュアルアノテーションによって収集した動物体のストレス要因を入力としたデータセットを作成し、機械学習によって動的な外部環境のストレス要因を推定している。図2.2に示すように、割り込み車両や路駐車両などがストレス要因として推定された結果が示されている。

2.2.2 自動走行ストレスの軽減に関する研究

本節では、自動走行ストレスに関して、その軽減を目的とした研究について述べる。

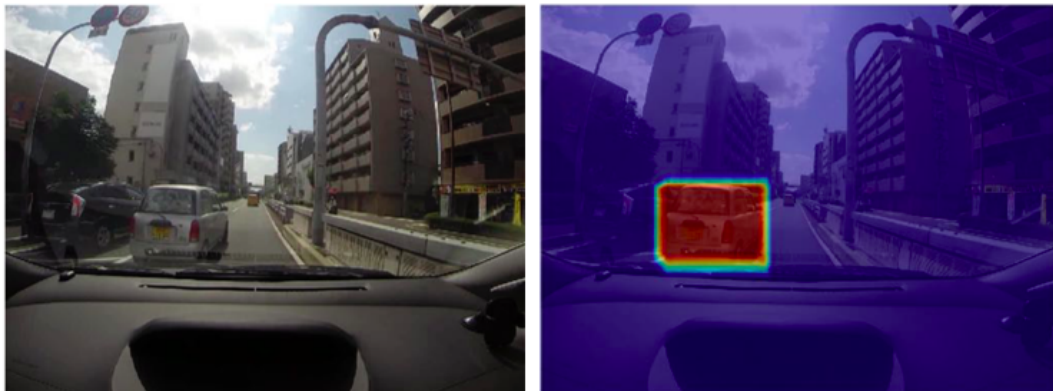


図 2.2 車載映像からのストレス要因推定（左：車載映像，右：ストレス要因推定結果）[29]

挙動制御によるストレス軽減

自動走行ストレス軽減のための手法の一つとして，自車の挙動を搭乗者が不快に感じないように，適切に制御する手法がある．自車挙動に起因するストレス要因に関して，Gulati らは，自動走行の望ましい動作に必要な要件として，安全性，滑らかな動作，適切な速度，直感的な操作の四つを定義した．また，滑らかな動作と適切な速度による二つの観点から，シミュレーションにおいて挙動制御に関する検証を行い，その有用性を評価した [22, 23]．

静的な外部環境に起因するストレス要因に関しては，Morales らによる車椅子が壁に接近することで搭乗者が受けるストレスを検証した研究が挙げられる [24]．この研究では，レーザレンジファインダによって静的外部環境の位置情報を取得し，その情報から搭乗者の視認性を推定し，視認性とストレスの関係性の検証を行っている．さらに，それに基づいた搭乗者の快適性を考慮した経路設計手法の提案も行っている [25, 26]．

野村らは，車椅子ロボット搭乗時に搭乗者が静的外部環境から受けるストレスを

軽減することを目的とした経路設計アルゴリズムの提案を行っている。この研究は、車椅子ロボットが周囲の壁までの距離や車両挙動パラメータ、生理指標の示すストレス値を入力としてデータベースを作成し、機械学習により最もストレスが軽減される経路を候補の中から選択する実験である [27]。

動的な外部環境に起因するストレス要因に関しては、澤邊らが見通しの悪い経路において、死角部分に存在するかもしれない歩行者との衝突予測によって発生するストレスを対象とした研究を行っている [28]。この研究では、走行予定経路において他の移動体と接触する可能性があるると予測される範囲の視認性として、挙動依存視認性 (Behavior Dependent Observability: BDO) を定義し、これを確保するように速度制御を行うことで搭乗者のストレス軽減を実現している。

情報提示によるストレス軽減

前節で述べた自車の挙動を制御する手法に並ぶ、もう一つの搭乗者のストレス軽減手法として、搭乗者に対して事前に情報提示を行うストレス軽減手法がある。

橋本らは、自車挙動に起因するストレスに関して、車椅子ロボットの挙動情報を搭乗者に提示することで、搭乗者のストレス低減を行う研究を行っている [30]。実験によって、挙動情報を搭乗者に事前に提示することでストレスの軽減が可能であること、また、生体情報を用いることが搭乗者のストレス評価に有効であることを示している。

静的な外部環境に起因するストレス要因について、笹井らは、自動車の搭乗者にとって死角となる車両の下前方領域の道路面の映像をダッシュボードに投影する手法を提案している [31]。この研究では、シースルー映像のように不可視領域の情報を搭乗者に提示すると同時に、その映像内に車両前輪の軌跡を重畳表示する拡張現実を用いたシステムを構築し、前輪と路面状況との位置関係を直感的に表示することで脱輪や障害物接触の不安に起因するストレスを低減する手法が提案されている。この研究においても、生理指標計測によるストレス評価の有効性が示されている。

動的な外部環境に起因するストレス要因について、渡辺らは、車椅子ロボットに登場した搭乗者と歩行者が屋内のまっすぐな廊下で正面からすれ違う場合のストレスを軽減手法を提案した [32]。車椅子ロボットに搭載されているプロジェクターか

ら床面に走行経路の情報を投影し、すれ違いの際に情報提示を行い、搭乗者・歩行者の両者に対するアンケート及び歩行者のすれ違い時における速度方向の変化量によりその有効性を評価している。また、澤邊らは、見通しの悪い曲がり角における他の動物体との衝突予測に起因するストレスについて、凸面鏡による情報提示やタブレットデバイスを用いた文字と音声による情報提示を行うストレス軽減手法を提案し、車椅子ロボットを用いた実験によって、被験者の心拍や発汗の情報をを用いた評価を行っている [33]。この研究から、不可視領域に対する情報提示手法として、凸面鏡による情報提示が効果的であることが明らかになっている。

ここまで述べたように、自動走行時に搭乗者に発生するストレス要因である 3 因子に対して、様々な手法でのストレス軽減手法が提案されている。また、その有効性を示すためにはアンケートによる主観評価や生理指標計測による客観評価が主に用いられている。

2.3 快適性評価のためのストレス計測

本節では、人の快適性に関連して、車両の搭乗者が感じるストレスを評価する手法について述べる。一般に、人の快適性を評価するために用いられる手法は、被験者に対するアンケート調査などによる主観的な評価と被験者の生理反応を計測することによる客観的な評価の二つの手法に大別される。

2.3.1 主観的指標によるストレス評価

ストレス評価において、アンケート調査のような主観的な評価指標は、手軽に行うことが可能である。しかし、さまざまなストレス負荷が発生した後にアンケート等に回答してもらう必要があるため、時間の経過によって、評価の前後で被験者がストレス発生時の状況を忘れていたり、ストレス負荷により受けた印象が変化してしまっている可能性がある。このように、主観的指標を用いたストレス評価では、被験者がどの部分でどの程度のストレスを感じていたかを解析することは難しく、時間的分解能が低いことが欠点として挙げられる。

Telpaz らは、搭乗者の快適性を計測するために、快適レベルを表示することが可

能なダイヤル式装置を搭乗者に持たせることで，準自動走行の車内での計測実験を行っている [34]．この手法では，ストレスを感じた箇所とストレスの程度をリアルタイムで計測することが可能であるが，評価基準が被験者に依存し，また回答作業におけるミスやノイズの影響が生じる問題がある．

2.3.2 客観的指標によるストレス評価

人は，交感神経と副交感神経からなる自律神経系を通して自分の意志と無関係に，感覚器，呼吸器，循環器，消化器，発汗や体温調節といった機能を制御している．一般に，人はストレスを受けることで交感神経が活発になり，それによって心拍，脈波，呼吸，皮膚電気活動，眼球運動，脳波などの生体情報が反応するとされる [35]．適切な計測装置を用いることでこれらの生体情報反応を記録することが可能となり，それによって客観的指標による快適性の評価を行うことができる．生体情報を用いた客観的指標によるストレス評価は，ストレスを感じた時点での記録が可能となるため，時間的分解能が高い結果を得ることができ，また，被験者に依存した主観的な評価基準の影響や回答作業におけるミスやノイズの影響を取り除くことが出来る．表 2.1 に，ストレスの評価に用いられる代表的な生体情報と，それらを計測するために必要な機器，また，それぞれの特徴についてまとめる．

表 2.1 客観的ストレス評価に用いる生体情報とそれぞれの特性

生体情報	計測機器	時間分解能	被験者の負担	精度
瞳孔	カメラ	高	中	低
脳波	脳波測定器	高	高	高
呼吸	マスク型やマウスピース型	低	高	高
胃電図	胃電図測定用の電極	高	高	高
唾液	アミラーゼモニター	低	低	高
心拍	心電図測定用の電極	高	低	中
皮膚電気活動	皮膚電気活動測定用の電極	高	低	中

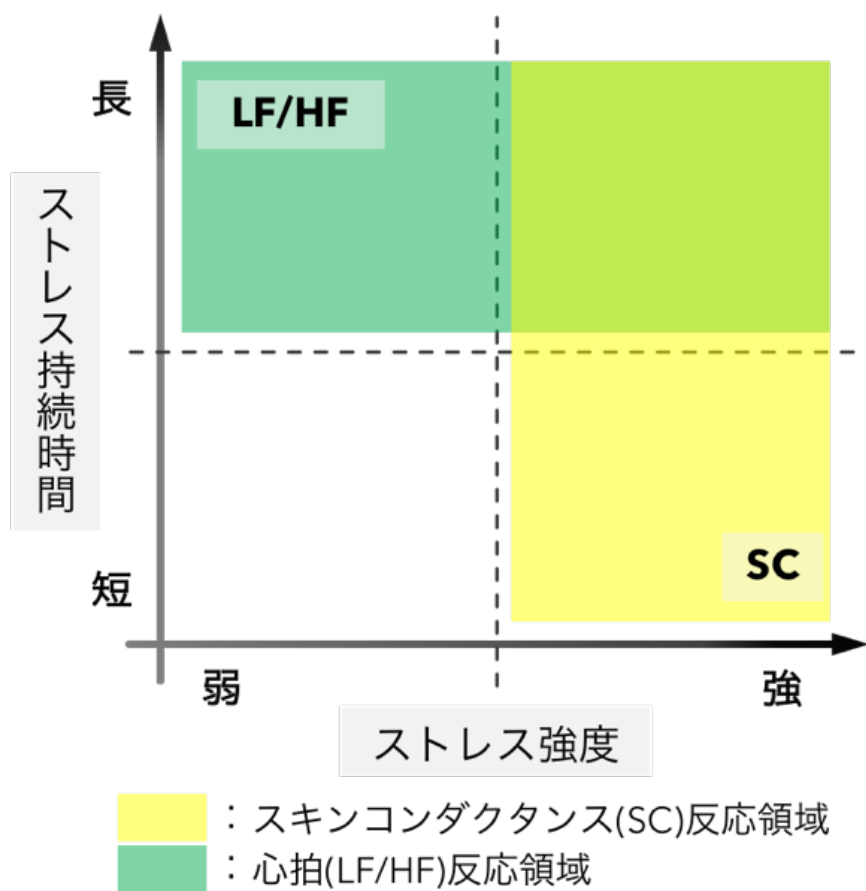


図 2.3 ストレス刺激の強度・持続時間と生体情報反応との関係 [30]

車両搭乗者のストレス計測に用いられる生理指標

表 2.1 に示したストレス評価に用いることができる代表的な生体情報のうち、心拍情報と皮膚電気活動の情報について、2.2.2 節で述べた橋本らの研究では、急発進や蛇行、壁への接近などの複数のストレス要因に対して、車椅子ロボット搭乗者の心拍や皮膚電気活動の生体情報反応を調べることで、ストレス刺激の強弱および長さと生体情報反応の特性には、図 2.3 に示すような関係があることを明らかにしている。

具体的には、心拍情報に起因する LF/HF の値は持続時間が長く強度の弱いストレスに対して反応し、皮膚電気活動に起因するスキンコンダクタンスの値は持続時

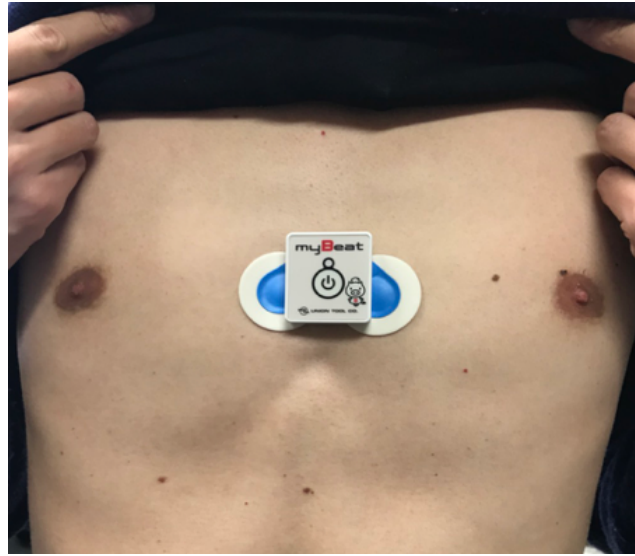


図 2.4 心拍センサ [36] を用いた心拍情報の取得例

間が短く強度の強いストレスに対して反応するとされる。これらのことから、車両搭乗者に発生するストレスを広範囲に計測するためには、搭乗者の生体情報として、心拍および皮膚電気活動を計測する必要があることが分かる。

表 2.1 に示すように、心拍情報は、心電図（ECG: Electrocardiogram）取得用の電極を胸部などに装着することで心電図を取得し、それらを解析することによって得ることができる。心拍センサ（Union Tool myBeat WHS-1 [36]）を用いた心拍情報の取得例を図 2.4 に示す。また、皮膚電気活動（EDA: ElectroDermal Activity）の情報は、緊張・興奮状態に発生する瞬発的な発汗を、手の指尖部、掌部や足底に装着した二つの電極により計測し、その間のコンダクタンス（抵抗の逆数）の変化を解析することで得ることができる。発汗センサ（Mindfield eSense Skin Responce [37]）を装着した皮膚電気活動の取得例を図 2.5 に示す。いずれの生体情報も、ストレス負荷に対して数秒の遅延の後に反応を示すとされ、体動の影響を受ける可能性があるが、簡単で非侵襲かつ連続的に計測することが可能であり、車両搭乗者においても適用可能であることが分かる。

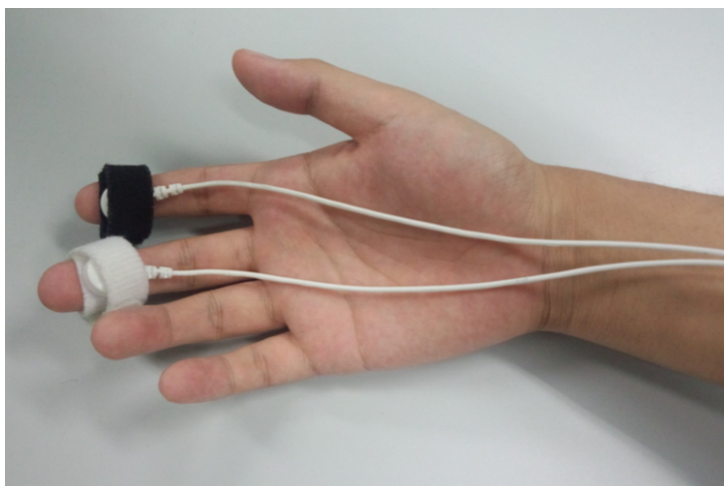


図 2.5 発汗センサ [37] を用いた皮膚電気活動情報の取得例

2.4 本研究の位置づけ

自動走行モビリティの継続利用のためには、その搭乗者が感じる自動走行ストレスを軽減する必要がある。自動走行ストレスの軽減には、まず、そのストレス要因を明らかにし、次に、そのストレス要因に対応するストレス軽減手法の適用が必要となる。2.2.1 節で述べたようなストレスの要因推定法は、ストレスの評価がマニュアルアノテーションによって行われている点や、調査するストレス要因が動的な外部要因のみに限定されている点など、リアルタイムなストレス要因推定が難しいことが課題として考えられる。

運転が自動化した環境では、搭乗者は運転動作から解放され、図 2.6 に示すような環境に身を置くことになる。そのような条件下であっても、搭乗者の生体情報をセンシングし、搭乗者に自動走行ストレスが発生したときにはそのストレスに対して適切な軽減手法を講じることができる環境が、自動走行モビリティの継続利用にとって理想であると考えられる。最近では、ダイキン工業株式会社が開発した、図 2.7 に示すような、無拘束で生体情報をセンシングすることができる Airitomo（エアリトモ）と呼ばれる技術など、生体情報の収集を不快感無く容易に行えるようになってきており [56]、このような背景から、自動走行モビリティの搭乗者にとって、不快感なくストレスを検知することができる車内環境の実現可能性が示されているといえる。しかし、車内環境において、搭乗者のリアルタイムかつ快適なストレス計測が実現したとしても、遅延などの問題から、発生したストレスに対して軽減手法を講じることができず、ストレス軽減手法の適用のためには、ストレス要因の事前推定が必要となる。ストレス要因の事前推定は、車両の走行環境データや搭乗者の生体情報との関係を蓄積することで可能になると考えられ、そのためには、それらのデータセットを大規模に収集することが必要である。既存研究においては、自動走行ストレスの要因推定を行うための、車両挙動情報や外部環境情報、搭乗者のストレス情報が含まれたデータセットの収集は行われておらず、またそのための手法も構築されていない。

本研究では、自動走行ストレスの要因推定のために必要な、自車の挙動情報・外部環境の情報・搭乗者の生体情報を含むデータセットを定義し、それらをスマートフォンや生体情報センサを用いて簡便に収集可能なデータ収集のフレームワークを提案する。また、提案するフレームワークによる自動走行ストレス要因推定のため



図 2.6 高度運転自動化された環境 [55]

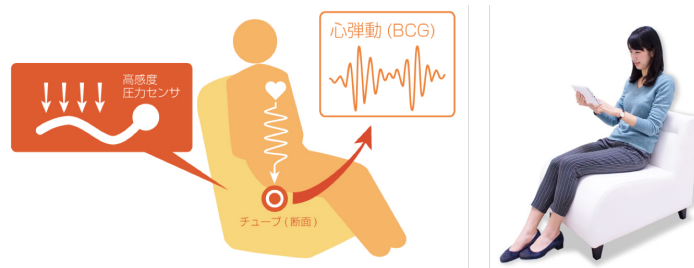


図 2.7 無拘束体動センシング技術 Airitomo –エアリトモ– [56]

のデータセット収集実験を，疑似自動走行（運転手による手動走行）環境下および自動走行環境下で行うことで，提案手法によって収集されたデータセットによる自動走行ストレスの要因推定の可能性について検証する．

第3章 自動走行ストレスの要因推定のためのデータ収集フレームワーク

自動走行ストレスの軽減のためには、ストレスが発生する要因を推定し、それに対して適切な軽減手法を講じる必要がある。自動走行ストレスの要因推定に関して、2.2.1 節で述べた萩原らの研究のように、発生要因の分類を動的な外部環境情報のみに限定した、マニュアルアノテーションによるストレスの要因推定は行われている。しかし、これだけでは、2.2.1 節で述べた自動走行ストレス要因のうち、自車の挙動要因や静的な外部環境要因によって発生するストレスまでは考慮できず、実際の車両走行環境など、複数のストレス要因が存在する環境下において、車両搭乗者がどのような対象からどのようにストレスを受けるかという詳細な推定は行えない。実際の車両走行環境下で、搭乗者が受けるストレスの要因を推定するためには、走行する車両に関する情報や搭乗者の情報を含んだ、ストレス要因推定のためのデータセットが大規模に収集し、解析する必要があると考えられる。

本研究では、自動走行ストレスに関して、その要因推定を詳細に行うためのデータセットを簡便に収集可能なデータ収集フレームワークを提案する。以降本章では、自動走行ストレスの要因推定を行うために必要なデータセットについて定義し、それらを収集するためのデータ収集フレームワークについて述べる。

3.1 自動走行ストレスの要因推定のためのデータセット

2.2.1 節で述べたように、自動走行ストレスは自車の挙動要因・静的な外部環境要因・動的な外部環境要因のいずれか、または、それら複数に起因して発生する。自動走行ストレスの要因推定を行うためには、まず、車両の実走行環境において、これらの情報を大規模に収集する必要があると考えられる。そこで、本提案手法では、自動走行ストレス要因推定のために、自車の挙動情報として車両の加速度、車両の静的な外部環境情報として車両の位置情報を収集する。また、静的および動的な外部環境情報として車両前方のカメラ映像を収集する。また、ストレス評価を主観によるマニュアルアノテーションではなく、客観指標によって行うために、車両搭乗者の生体情報を同時に収集する。収集する生体情報は、2章で述べた、短期的

で強いストレスに反応する EDA（皮膚電気活動）と、長期的で弱いストレスに反応する心拍に関連する値を得るための ECG（心電図）である。

本研究で提案する自動走行ストレス要因の推定に用いるためのデータセットのまとめを以下の表 3.1 に示す。

表 3.1 自動走行ストレス要因推定のためのデータセット

ストレスの要因推定に必要な情報	データセットに含まれる収集データ
車両の挙動情報	車両加速度（前後・左右）
車両の外部環境情報	カメラ映像（前方） 位置情報（GPS）
搭乗者の生体情報	EDA（皮膚電気活動） ECG（心電図）

実走行環境において、表 3.1 に示した情報を大規模に収集することで、自動走行ストレスの発生要因を推定することが可能となる。また、ストレスの発生要因が明らかになると、それに応じて挙動制御や情報提示などのストレス軽減手法を適切に応用することができると考えられる。

3.2 データ収集フレームワーク

本節では、ここまで述べた、自動走行ストレス要因推定のためのデータセット、また、それらの収集法についてまとめる。提案するデータ収集フレームワークの概略は図 3.1 の通りである。表 3.1 で述べたデータセットを実走行環境で収集することで、自動走行ストレスの発生要因推定が可能となり、そのストレス要因推定結果から、適切なストレス軽減手法を選択しフィードバックすることで、自動走行ストレスによる搭乗者の快適性低減を抑制する事が可能になると考える。

図 3.1 で示したフレームワークにおけるデータ収集は、実走行する車内環境において、スマートフォンを車両の前方部に固定し、そのスマートフォンに搭載された加速度センサで車両の加速度、GPS センサで位置情報、カメラで外部環境の情報を取得する。搭乗者には、電極を取り付け、生体情報センサを介して取得した生体情

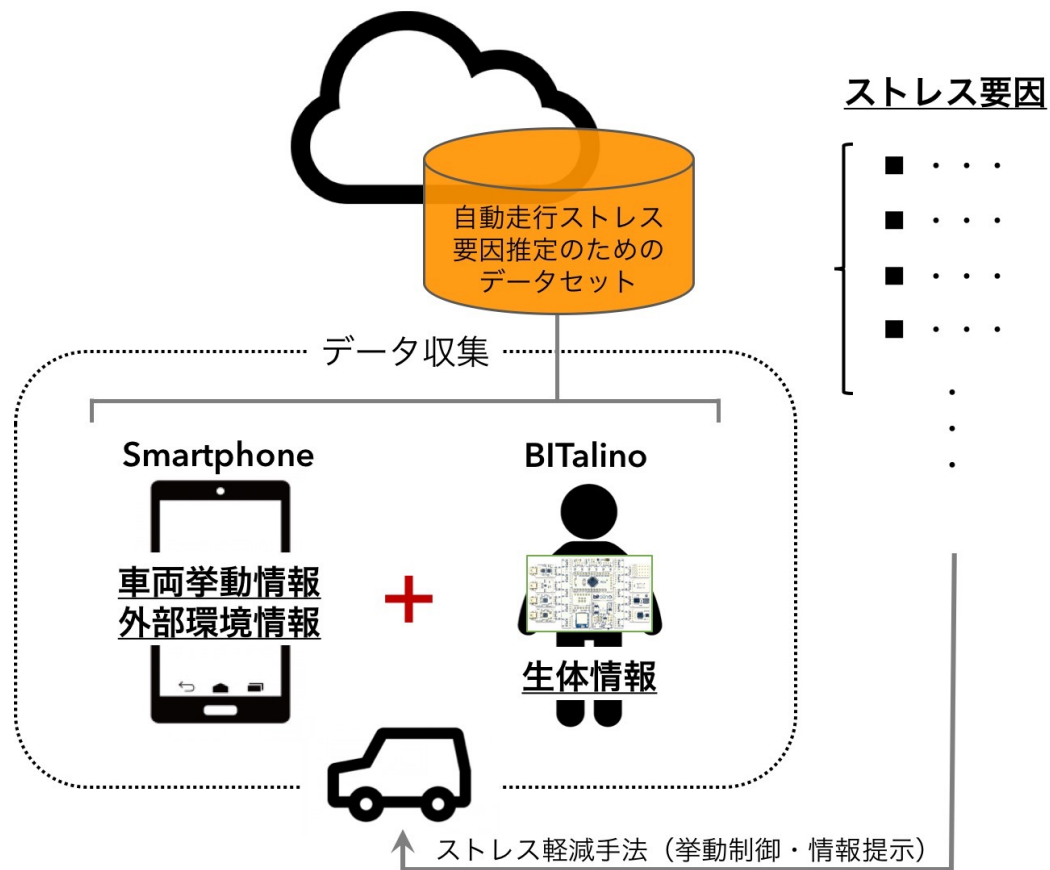


図 3.1 自動走行ストレス要因推定のためのデータ収集フレームワーク

報を，車両に固定したスマートフォンに記録する．

これにより，表 3.1 に示したデータセットに含まれる情報を，実走行環境下で収集し，それらの情報をスマートフォンに記録し集約することができ，簡便に大規模なデータ収集が可能となる．実際にデータセットを収集しまとめた例を表 3.2 に示す．単一デバイスにデータをまとめて収集するため，時間同期されたデータをまと

めて扱うことが可能となる。

表 3.2 自動走行ストレス要因推定のためのデータセット収集結果例

時刻	左右	前後	緯度	経度	映像	EDA	ECG
09:06:19	2.0859	0.3561	34.7316	135.7348	—	607	0.002
09:06:20	2.1251	0.2719	34.7316	135.7348	—	608	0.003
09:06:21	...	...	...	...	...	...	...
09:06:22	...	...	...	...	...	...	...
09:06:23	...	...	...	...	...	...	...

また、ネットワーク環境が存在すれば、スマートフォンに蓄積された実走行環境でのデータセットを，図 3.1（オレンジ部）のように，外部サーバ等に蓄積することができ，蓄積されたデータセットを学習することで，自動走行ストレス要因を推定することが可能となる．それによって明らかとなったストレス要因に対して，2.2 節で述べたような手法を適切に講じることで搭乗者に発生する自動走行ストレスを軽減することができると考えられる．

データ収集デバイス

ここでは、3.1 節で述べた自動走行ストレス要因推定のためのデータセットに含まれる情報を収集するためのデバイスについて述べる。表 3.1 に示すデータセットに含まれる情報を取得するためには、加速度センサ・カメラ・GPS センサ・生体情報取得用のセンサが必要となる。また、収集したデータを記録するための装置も必要となる。本研究では、大規模なデータ収集を簡便に行うことが可能な手法の提案を目的とするため、一般に普及しており多くのセンサを搭載しているスマートフォンおよび安価で小型化された生体信号計測装置をデータセット収集デバイスとして用いる。

スマートフォンに搭載されるセンサ

普段、我々が手にしているスマートフォンには、指紋センサや環境光センサなど数多くのセンサが搭載されている。スマートフォンに搭載されている加速度センサ、カメラ、GPS センサを用いることで、表 3.1 に示すデータのうち、車両加速度、前方のカメラ映像および車両の位置情報（GPS）を取得可能である。また、取得したデータをスマートフォン端末内に記録することも可能である。さらに、ネットワーク環境が存在すれば、記録した情報をスマートフォンから外部サーバ等に送信し、蓄積することも可能である。

生体信号取得用シングルボードコンピュータ BITalino

表 3.1 に示すデータのうち、搭乗者の生体情報計測には、図 3.2 に示すような、Plux 社製の生体信号取得用シングルボードコンピュータである、BITalino を用いる。BITalino は、被験者に電極を取り付けることで、皮膚電気活動（EDA）や心電図（ECG）の他、様々な生体信号を計測することができ、Bluetooth を介した通信によって、ワイヤレスにそれら情報を PC やスマートフォンなどの別端末に記録し、アプリケーション上などで手軽に扱うことができる [58]。また、取得したデータを扱うためのソフトウェア OpenSignals や、対応する多くの API が公開されていることも特徴である [59]。

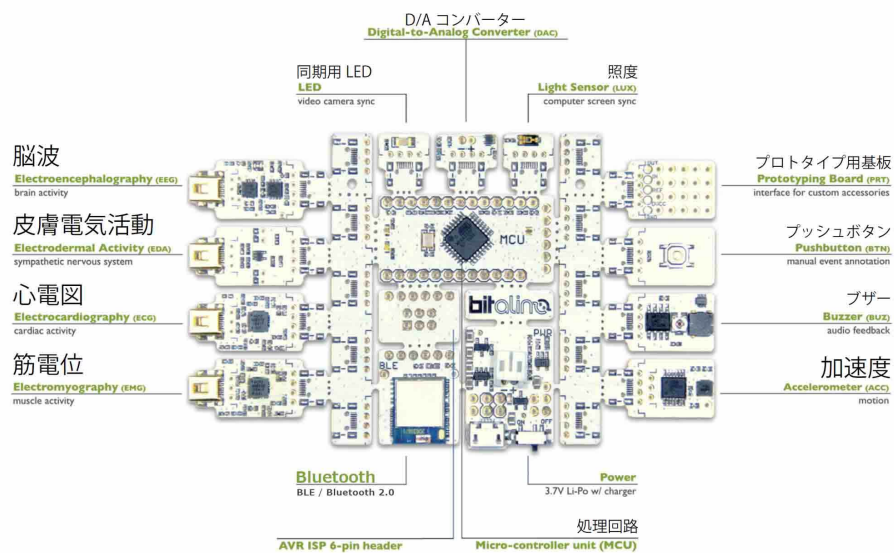


図 3.2 生体信号取得用シングルボードコンピュータ BITalino[58]

次章では、本章で述べた自動走行ストレス要因推定のためのデータ収集フレームワークを用いた、実環境でのデータ収集実験について述べ、このフレームワークの有用性について検証する。

第 4 章 自動走行ストレス要因推定のためのデータ収集実験

実際に車両が走行する環境において、3 章で述べたデータ収集フレームワークを用いて、自動走行ストレスの要因推定を行うデータセットを収集することを目的とした被験者実験を、疑似自動走行（運転手による手動運転）環境下、および自動走行（システムによる自動運転）環境下で行った。本章では、それらの実験について、実験環境、収集されたデータ、および得られた結果に対する考察について述べ、提案するデータ収集フレームワークの有用性を検証する。

4.1 疑似自動走行環境下でのデータ収集実験

最初に、実車を用いた被験者実験として、自動走行を模した環境である、疑似自動走行環境（運転手による手動運転の車両に同乗する環境）下でのデータ収集実験を行った。本節ではその実験環境、実験結果および考察について述べる。

4.1.1 実験環境

実験環境を図 4.1 に示す。被験者には、BITaino に接続された生体情報センサおよび電極を取り付けた上で、走行する車両の助手席または後部座席に搭乗してもらった（図 4.3）。走行する車両のダッシュボード上にはスマートフォン（SONY SO-01J | OS: Android 8.0.0, SHARP SH-M04 | OS : Android 6.0.1）を取り付け、スマートフォンに搭載された各センサ・カメラを用いて、表 3.1 のデータセットに示した車両の加速度や位置情報、外部環境の情報を記録した。また、BITalino から取得された生体情報はそれらのスマートフォン上に記録されるようにした。

走行経路を図 4.2 に示す。走行経路はカーブや坂道等を含む一般道であり、走行中には、ストレスが発生するイベントとして、急加速や急減速、急カーブ等を意図的に発生させた。

自動走行環境を仮定し、被験者には、走行中は運転手を意識しないよう事前に伝え、また、運転者および被験者の意図がお互いに伝わることをしないよう、走行中は

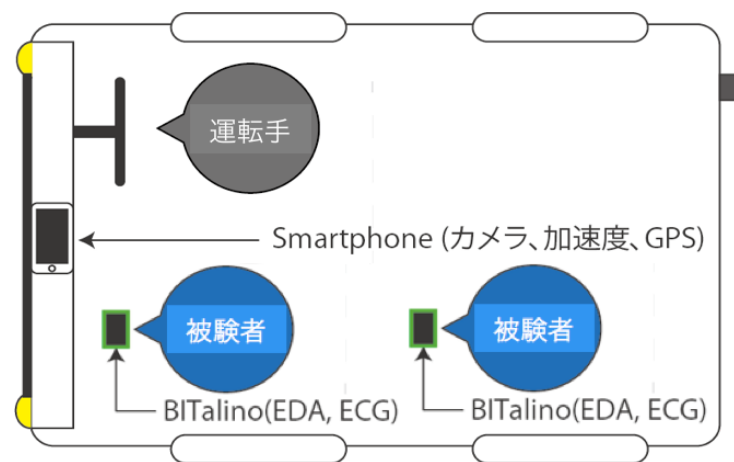


図 4.1 疑似自動走行下での車内環境（平面図）

会話を行わない状況とした。運転手は日頃から自動車を運転している 20 代の男性 1 名，被験者は自動車の運転免許を有する 20 代の男性 4 名であり，一走行あたりの所要時間は 5 分程度であった。また，実験走行後，走行中に恐怖感・不安感を感じたことについて，被験者にアンケート調査を行った。



図 4.2 疑似自動走行車両の走行経路（地図データ@ 2019 Google, ZENRIN）

4.1.2 実験結果

実験で収集されたデータセットのうち、ある被験者の一走行におけるデータを示す。まず、走行中に計測された車両の加速度データを図 4.4 に示す。図 4.4 上のグラフ縦軸は走行車両の左右カーブに対応する左右加速度（+：左，-：右）を示し，図 4.4 下のグラフ縦軸は走行車両の加減速に対応する前後加速度（+：減速，-：加速）を示す。これらのグラフから，実験走行中に前後・左右ともに大きな加速度の変化があったことが確認できる。



図 4.3 実車におけるデータ収集の様子

次に、この走行に同乗した被験者から収集された生体情報として、EDA（皮膚電気活動）のデータを車両加速度のグラフ（図 4.4）と重ね合わせたグラフを図 4.5 に示す。走行中に EDA のグラフが立ち上がる箇所（図 4.5 枠内）が複数存在していることから、被験者が実験走行中にストレスを感じるタイミングが複数回あったことが確認できる。

例えば、図 4.5 の (2), (3), (6) で示した箇所においては、車両の左右加速度の大きな変化の周辺で被験者の EDA 値が上昇している。同様に、図 4.5 の (7), (8), (9) で示した箇所においては、車両の前後加速度の大きな変化の周辺で、被験者の

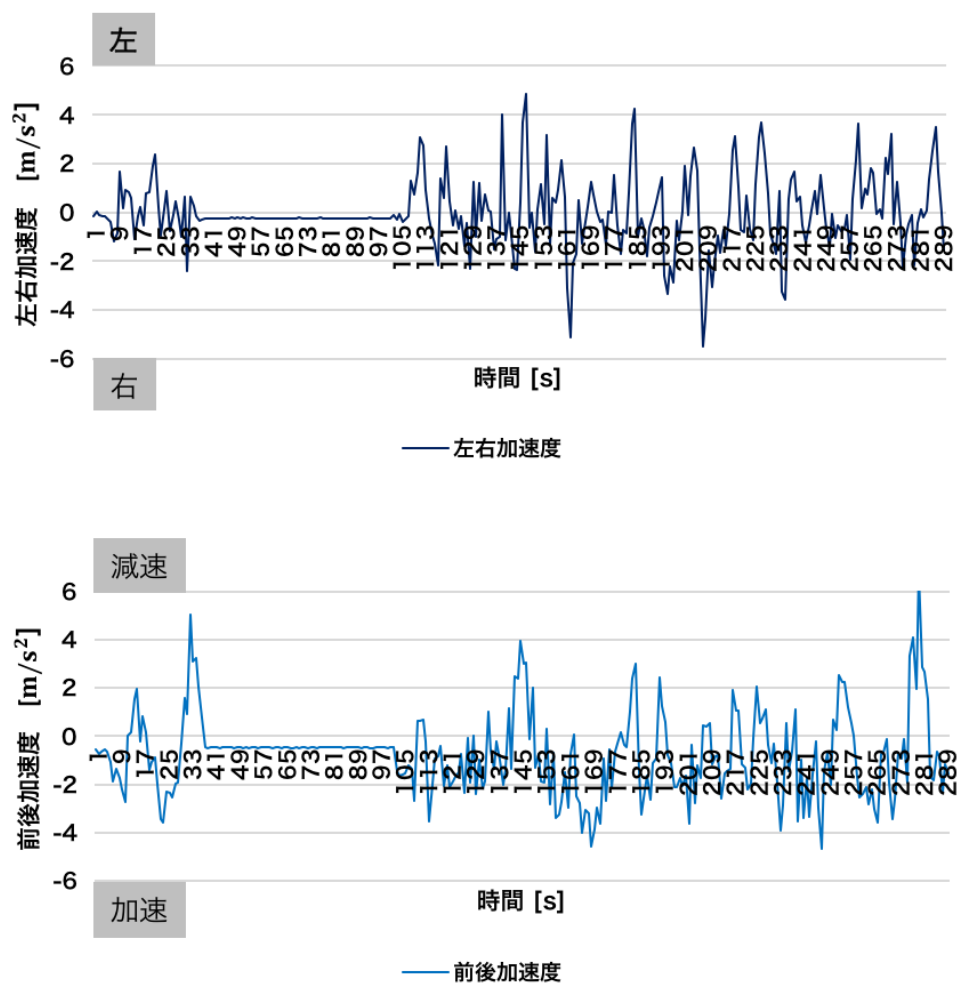


図 4.4 疑似自動走行環境において一走行で発生した車両加速度（上：左右加速度，下：前後加速度）

EDA 値が上昇している。これらの結果から、自車の挙動に対して被験者の生体情報が反応し、被験者のストレス反応を検知することができたことが確認できる。

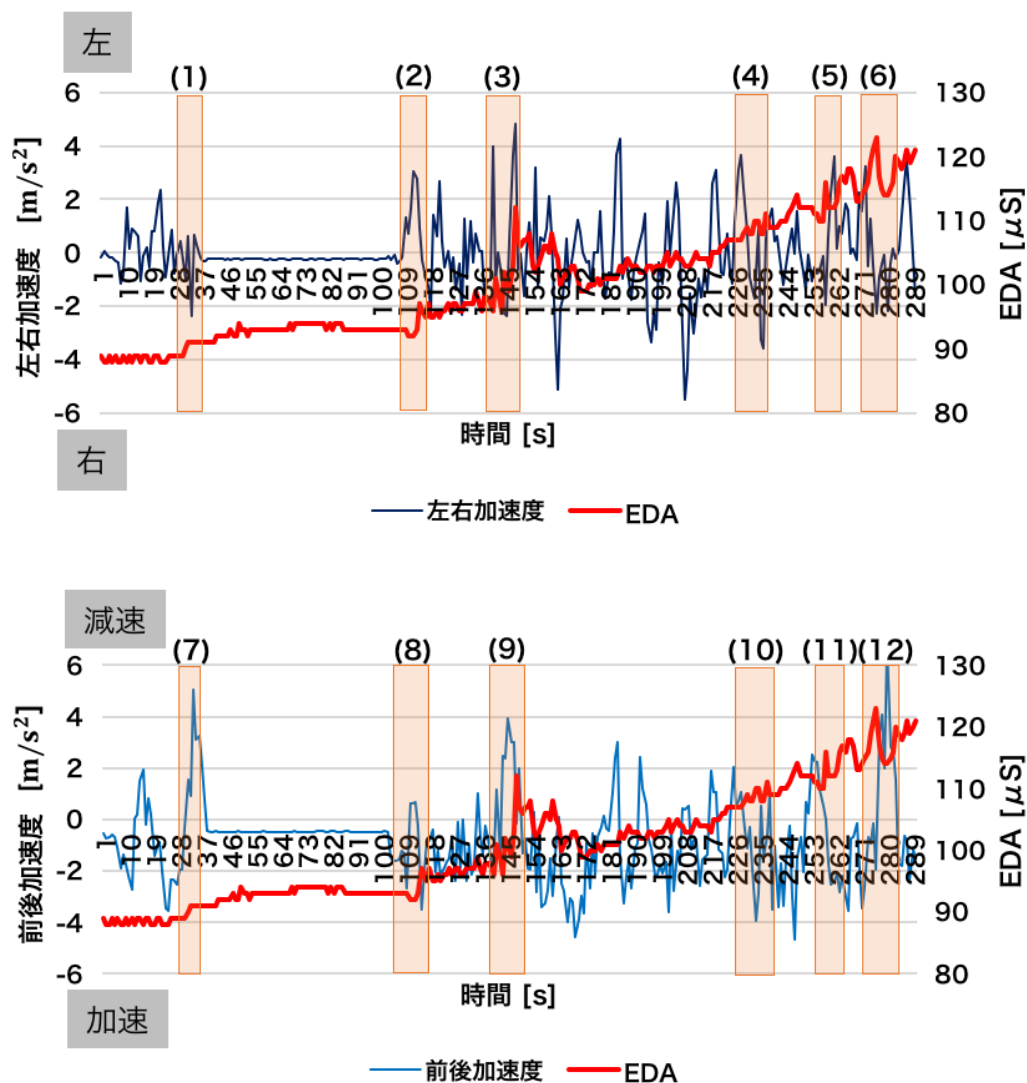


図 4.5 疑似自動走行環境下での一走行あたりの車両加速度と生体情報（EDA）との関係

4.1.3 考察

図 4.5(3), (9) で示した箇所において、カメラで撮影された外部環境情報の一部を、図 4.6 に示す。図 4.6 付近の映像から、この箇所において、走行車両は減速をしながら左へカーブしようとしていたことが確認できる。ここで被験者はストレス反



図 4.6 図 4.5 中の (3), (9) における外部環境情報

応を示しているが、図 4.6 で示した周辺の映像から、搭乗者にとってストレス要因となるような外部環境情報は確認することはできない。したがって、図 4.5 の (3), (9) における被験者のストレス反応は自車の挙動要因に起因するものであると考えられる。

次に、図 4.5 の (6), (12) で示した箇所において、カメラで撮影された外部環境情報の一部を、図 4.7 に示す。この箇所において、被験者はストレス反応を示しているが、図 4.7 で示した周辺の映像によると、走行車両は急な減速をしながら対向車と近い距離ですれ違っていることが確認できる。これらから、この時点における被験者のストレス反応は自車の挙動要因（急減速）と動的な外部環境要因（対向車）のどちらか、または双方に起因するストレスであると考えられる。走行後に行った聞き取り調査において、この被験者は対向車との近距離でのすれ違いに恐怖を感じたと回答しており、その結果とも一致している。

この実験では、3 章で提案したデータ収集フレームワークを用いて、自動走行ストレスの要因推定のためのデータセットを疑似自動走行環境下で収集することができた。また、この走行で収集したデータセットに含まれる搭乗者の生体情報から、走行中に発生したストレス反応を検知することができ、データセットに含まれる挙動情報や外部環境情報を用いることで、その発生要因の特定を行える可能性が示唆された。



図 4.7 図 4.5 中の (6), (12) における外部環境情報

今回の疑似自動走行環境における走行では、ストレスイベントとして、急加速や急減速、急カーブなどを意図的に発生させており、図 4.4 から、走行中に $0.2G$ (約 $1.96m/s^2$) 以上の加速度の変化が確認できる。上述のように、搭乗者は、大きな加速度の変化という自車の挙動要因に対してストレス反応を示していることから、走行中に発生する加速度の変化はストレス要因になりうると考えることができる。しかし、この走行から得られる結果だけでは、それらのストレス反応が、大きな加速度の変化に対するストレス反応であるのか、加速度の変化が理想と異なることによるストレス反応であるのかを断定することはできず、そのためにはさらなるデータ収集が必要となると考えられる。



図 4.8 実験に使用した自動走行ゴルフカート

4.2 自動走行環境下でのデータ収集実験

次に、4.1 節で述べた実験と同様のデータ収集実験を、自動走行環境下で行った。本節ではその実験環境、実験結果および考察について述べる。

4.2.1 実験環境

本実験における走行では、名古屋大学 未来社会創造機構 COI[60] の協力の下、データ収集のための走行を行うモビリティとして、図 4.8 に示すような、名古屋大学 COI で研究開発がなされている、自動走行が可能な小型電気自動車（ゴルフカート）を使用した。

走行経路を図 4.10 に示す。走行経路は、カーブや坂道等を含む名古屋大学構内の道路であり、走行中には、ストレスが発生するイベントとして、蛇行走行などを意図的に発生させた。

実験環境を図 4.9 に示す。自動走行ゴルフカートのシステム操作者 2 名が前席に座り、被験者は後部座席に搭乗してもらった。被験者は自動車の運転免許を有する 20 代の男性 2 名であり、一走行あたりの所要時間は 3 分程度であった。レベル 4・レベル 5 程度の高度な自動走行環境を想定し、被験者には、走行中はシステム操作

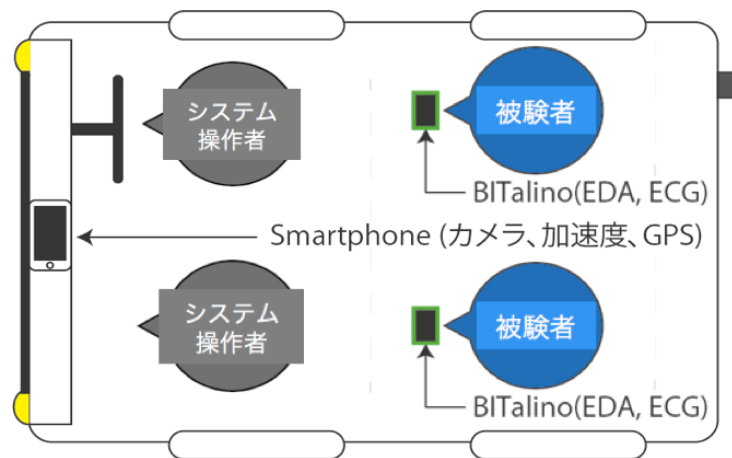


図 4.9 自動走行下での車内環境（平面図）



図 4.10 自動走行ゴルフカートの走行経路（地図データ@ 2019 Google, ZENRIN）

者を意識しないよう事前に伝えた。また、走行中は、システム操作者および被験者の意図がお互いに伝わることをしないよう、会話は行わない状況とした。データの収集法に関しては、4.1 節で述べた手法と同様である。

4.2.2 実験結果

実験で収集されたデータセットのうち，ある走行におけるデータについて結果を示す．

まず，走行中に計測された車両の加速度データを図 4.11 に示す．図 4.11 上のグラフ縦軸は走行車両の左右カーブに対応する左右加速度（+：右，-：左）を示し，図 4.11 下のグラフ縦軸は走行車両の加減速に対応する前後加速度（+：加速，-：減速）を示す．これらのグラフから，実験走行中に前後・左右ともに加速度の変化があったことが確認でき，車両の挙動が読み取れる．

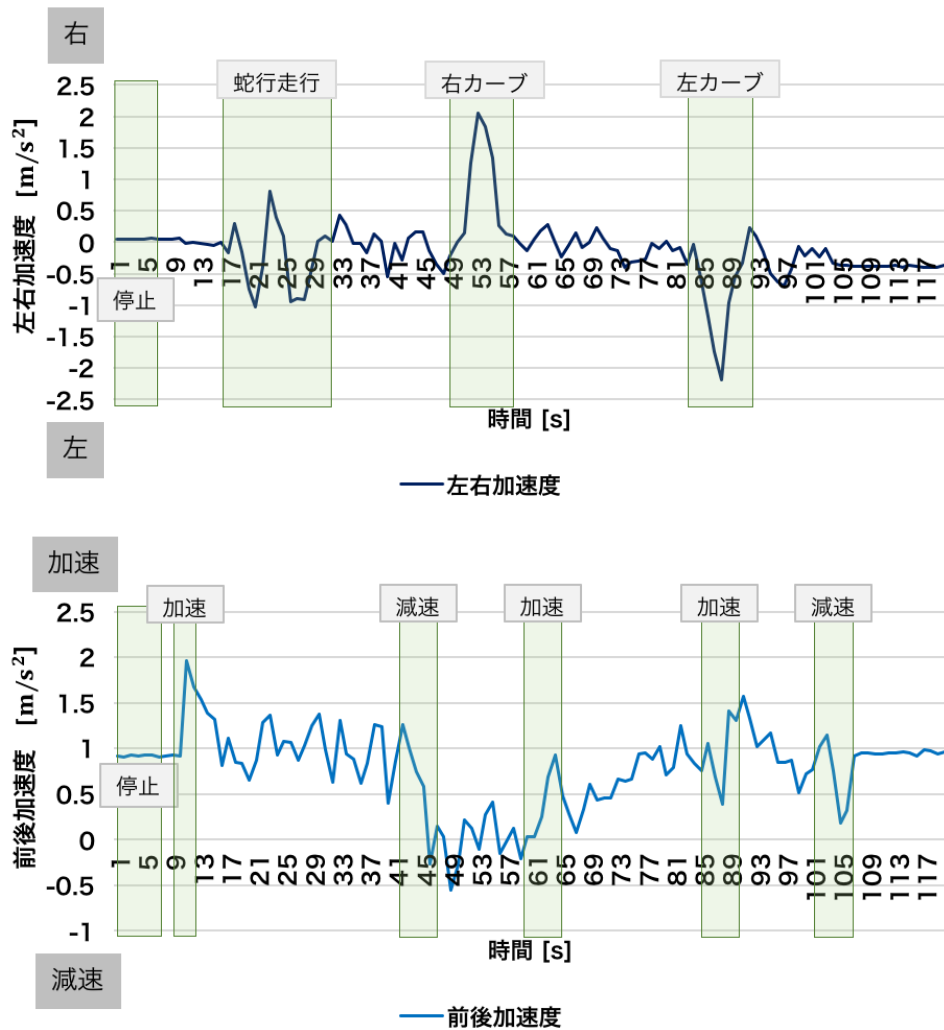


図 4.11 自動走行環境において一走行で発生した車両加速度（上：左右加速度，下：前後加速度）

次に、ある走行において収集された被験者の生体情報として、EDA（皮膚電気活動）のデータと車両加速度のデータと重ね合わせたグラフを、図 4.12 に示す．図 4.12 枠内に示すように、走行中に EDA のグラフが立ち上がる箇所が複数存在していることから、被験者が実験走行中にストレスを感じるタイミングが複数回あったことが確認できる．

例えば、図 4.12(2)，(3) で示した箇所においては、車両の左右加速度の変化の周

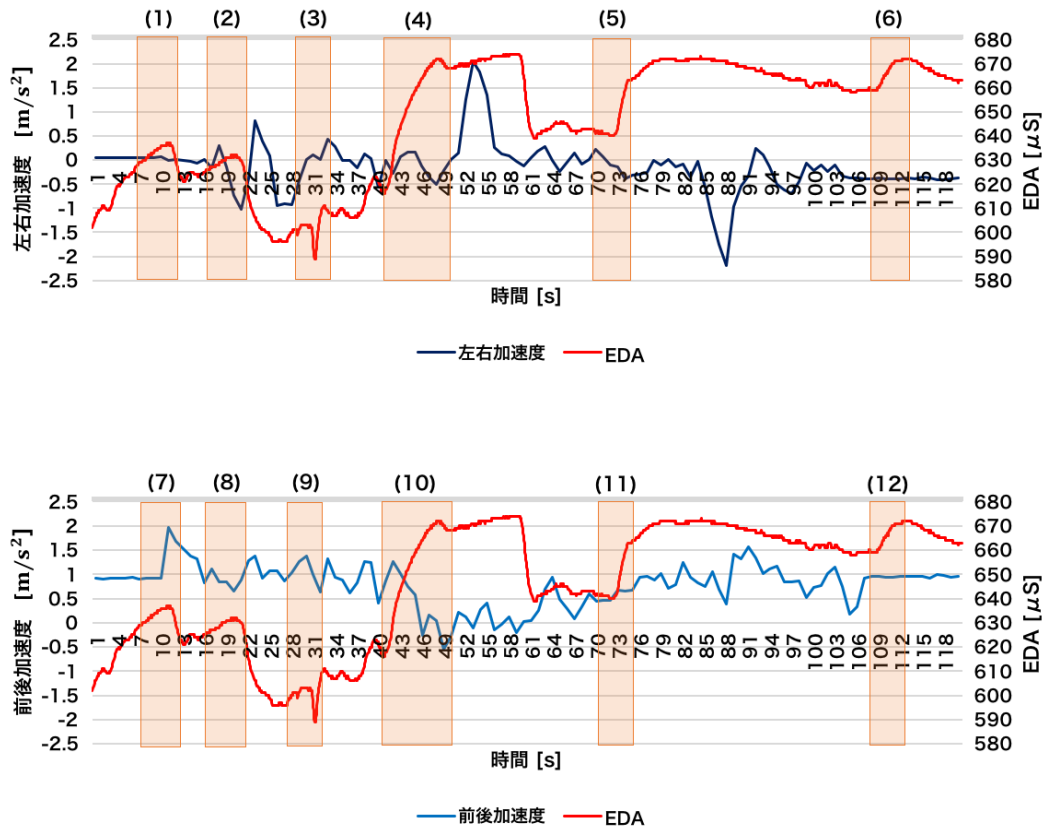


図 4.12 自動走行環境下での一走行あたりの車両加速度と生体情報（EDA）との関係

辺で被験者の EDA 値が上昇している．同様に，図 4.12(7)，(10) で示した箇所においては，車両の前後加速度の変化の周辺で，被験者の EDA 値が上昇している．これらの結果から，自車の挙動に対して被験者の生体情報が反応し，被験者のストレス反応を検知することができたことが確認できる．

4.2.3 考察

図 4.12(4)，(10) で示した箇所において，カメラで撮影された外部環境情報の一部を，図 4.13 に示す．この箇所において，走行車両は下り坂で減速をしながら，右



図 4.13 図 4.12 中の (4), (10) における外部環境情報

へカーブしようとしている。ここで被験者はストレス反応を示しているが、図 4.13 で示した周辺の映像から、搭乗者にとってストレス要因となるような外部環境情報は確認することはできない。したがって、図 4.12(4), (10) における被験者のストレス反応は、自車の挙動要因に起因するものであると考えることができる。

次に、図 4.12 の (3), (9) で示した箇所において、カメラで撮影された外部環境情報の一部を、図 4.14 に示す。この箇所において、被験者はストレス反応を示しているが、図 4.14 で示した周辺の映像によると、走行車両は蛇行走行をしながら路駐車両に接近していることが確認できる。また、その路駐車両の奥には、左から走行してきて車両の前方に飛び出しそうな自転車の存在が確認できる。これらのことから、この時点における被験者のストレス反応は、自車の挙動要因（蛇行走行）、静的外部要因（路駐車両）・動的外部環境要因（自転車の飛び出し）のいずれか、またはすべてに起因するストレスであると考えられる。

この実験では、3 章で提案したデータ収集フレームワークを用いて、自動走行ストレスの要因推定のためのデータセットを自動走行環境下で収集することができた。4.1 節で示した疑似自動走行環境下での実験と同様、収集したデータセットに



図 4.14 図 4.12 中の (3), (9) における外部環境情報

含まれる搭乗者の生体情報から、走行中に発生したストレス反応を検知することができ、データセットに含まれる自車の挙動情報や外部環境情報を用いることで、その発生要因を明らかにすることができた。

4.3 ストレス要因推定データ収集実験のまとめ

4.1 節，4.2 節で述べた実験から，疑似自動走行環境，自動走行環境それぞれにおいて，提案するフレームワークを用いた，ストレス要因推定のためのデータセット収集が可能であることが確認できた．2 つの実験結果から，発進・停止などの加減速時やカーブ時における車両挙動の変化，静的外部要因への接近，また，動的外部要因の存在などにストレス反応を示した結果を確認し，上記 3 因子を自動走行ストレスの要因として検出することができた．しかし，複数のストレス要因が存在する場合などでは，生体情報の反応がどの要因によるものなのかを詳細に推定することはできず，そのためには，被験者数を増やしたより大規模なデータ収集が必要であると考えられる．また，大規模にデータセットを収集することで，ストレス要因の

詳細な推定だけでなく，ストレス反応に対する統計的な検証や，個人差について考慮することも可能であると考えられる．

第 5 章 おわりに

本論文では、自動走行環境下において運転動作から解放される搭乗者に発生する、精神的な快適性の低減要因である自動走行ストレスの発生要因推定について述べた。本研究では、自動走行ストレスが発生する要因推定を行うために必要な、自車の挙動情報、車両の外部環境情報、搭乗者の生体情報からなるデータセットを定義した。そして、自動走行ストレス要因推定のために、そのデータセットを簡便かつ大規模に収集することを目的とした、スマートフォンと生体情報センサからなるデータ収集フレームワークを提案した。フレームワークの有用性を検証するため、提案するフレームワークを用いた実車によるデータ収集実験を、疑似自動走行環境下および自動走行環境下で、計 6 名の被験者に対して行った。データ収集実験の結果、加速度の変化による車両挙動要因、路駐車両などの静的な外部環境要因、自転車の飛び出しなどの動的な外部環境要因に対して搭乗者の生体情報が反応することが確認され、実走行環境下で搭乗者に発生するストレスの要因を検出することができた。しかし、複数のストレス要因が存在する場合などにおいては、データ数が十分でないことなどから、詳細にストレス要因を断定することはできなかった。

今後は、ストレスの要因推定へ向けたデータセット構築のため、提案したフレームワークを用いたデータ収集を、被験者を増やすなど大規模に行い、得られるデータからストレス反応における統計的な検証や個人差について検討する予定である。また、収集されるデータセットからリアルタイムにストレスの要因推定を行うための手法の検討を試みる。

謝辞

本研究の全過程を通して，懇切なる御指導，御鞭撻を賜りました，奈良先端科学技術大学院大学 環境知能学研究室 萩田 紀博 教授に心より深く感謝申し上げます。また，副指導教員である，ロボティクス研究室 小笠原 司 教授には，学内発表において，研究に関する貴重なご指摘，ご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。副指導教員である，環境知能学研究室 神原 誠之 准教授には，本研究のテーマ設定から本論文の執筆に至るまで，また，日々の研究室生活においても，温かく細やかなご指導を頂きました。心より感謝の意を表します。名古屋大学 未来社会創造機構 COI 知能化モビリティ研究グループの 赤木 康宏 特任准教授，Luis Yoichi Morales Saiki 特任准教授には，お忙しい中，自動走行ゴルフカートの走行機会を提供して頂き，また，実験に関しての貴重な意見を伺うことができました。深く感謝申し上げます。奈良先端科学技術大学院大学 環境知能学研究室 モビリティグループ 博士後期課程 澤邊 太志さんには，本研究のテーマ設定から実験設計，ミーティングでの議論や原稿・論文の添削に至るまで，温かく細やかなサポートを通して，研究の方針を正して頂きました。深く感謝の意を表します。また，環境知能学研究室 博士後期課程 西村 祥吾さんには，ミーティングや発表練習を通して，鋭いご指摘・ご助言を頂きました。深く感謝の意を表します。環境知能学研究室の櫻井 皓介君には，同じモビリティグループとして共に研究を進めることができたことに感謝申し上げます。また，環境知能学研究室の坂田 大直君，坂本 大生君，津崎 圭祐君，中村 卓矢君，木俣 大樹君，栗田 優輝君，本多 克君と共に研究室生活を送れたことに感謝申し上げます。事務手続きなど様々な面で日頃から研究室生活を支えて頂いた，環境知能学研究室 秘書の南 あずささんに感謝申し上げます。最後に，これまでの長きにわたる学生生活を支えてくれた家族に多大な感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] アーサー・ディ・リトル・ジャパン. モビリティ進化論 自動運転と交通サービス、変えるのは誰か. 日経 BP 社, 2018.
- [2] 田中 道昭. 2022 年の次世代自動車産業 異業種戦争の攻防と日本の活路. PHP 研究所, 2018.
- [3] 一般社団法人 日本自動車工業会 (JAMA). "2020 年東京オリンピック・パラリンピックに向けた取り組みについて". <http://www.jama.or.jp/tokyo2020/>. [Accessed: 2019-1-31].
- [4] 首相官邸 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. 官民 ITS 構想・ロードマップ 2018. 2018.
- [5] ZMP 株式会社. "自動タクシー (Auto Taxi)". <https://www.zmp.co.jp/services/autotaxi>. [Accessed: 2019-1-31].
- [6] 内閣府 経済産業省 内閣官房 IT 総合戦略室 内閣官房日本経済再生総合事務局. 自動走行の実現に向けた取組. 2018.
- [7] M. Matthews, G. Chowdhary, and E. Kieson, "Intent communication between autonomous vehicles and pedestrians," arXiv preprint arXiv:1708.07123, pp. 1–14, 2017.
- [8] クボタ電農スクエア. "アグリロボの概要 AgriRobo トラクタ". <https://www.jnouki.kubota.co.jp/product/tractor/agrirobo/overview.html>. [Accessed: 2019-1-31].
- [9] 内閣府 政策統括官 (科学技術・イノベーション担当). 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 自動走行システム 研究開発計画. 2018.
- [10] The American Automobile Association(AAA). Fact Sheet: VEHICLE TECHNOLOGY SURVEY – PHASE IIIB. 2018.
- [11] National Highway Traffic Safety Administration(NHTSA). Updated: Autonomous Driving Levels 0 to 5: Understanding the Differences. 2016.
- [12] L. Bainbridge, "Ironies of automation," Automatica, Vol. 19, No. 6, pp. 775–779, 1983.
- [13] T. Sawabe, M. Kanbara, and N. Hagita, "Comfortable Intelligence for

- Evaluating Passenger Characteristics in Autonomous Wheelchairs," IEICE Transaction Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E101-A, No. 9, pp. 1308–1316, 2018.
- [14] 澤邊 太志, "自動走行時の搭乗者の快適性に関する研究," 奈良先端科学技術大学院大学 博士後期課程論文, NAIST-IS-DD1661010, pp. 1–140, 2019.
 - [15] コトバンク. "かい-てき〔クワイ〕【快適】". <https://kotobank.jp/word/快適-458059>. [Accessed: 2019-1-31].
 - [16] Gazoo. "自動運転でどう変わる – 2030 年のクルマ未来予想図". <https://gazoo.com/article/future/160823.html>. [Accessed: 2019-1-31]
 - [17] M. Sivak, B. Schoettle, "Motion Sickness in Self-Driving Vehicles," The University of Michigan Transportation Research Institute, Technical Report Documentation, pp. 1–15, 2015.
 - [18] K. Kaur and G. Rampersad, "Trust in driverless cars: Investigating key factors influencing the adoption of driverless cars," Journal of Engineering and Technology Management, pp. 1–18, 2018.
 - [19] K. Kaur and G. Rampersad, "Trust in Autonomous Vehicles: The case of tesla autopilot and summon," 2017 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics(SMC2017), pp. 1–7, 2017.
 - [20] 太田 翔平, 神原 誠之, 浮田 宗伯, 北原 格, 亀田 能成, 大田 友一, 池田 徹志, Y. Morales, 篠沢 一彦, 萩田 紀博, "自動走行ストレス：生体情報を用いた自動走行車両搭乗者のストレスに関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-ITS2014-35), Vol.144, No.369, pp.87–92, 2014.
 - [21] 磯部 良太, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "自動走行酔い：車酔いと VR 酔いの併発環境におけるストレス評価," 日本バーチャルリアリティ学会研究報告: VR 学研報 (VRSJ Research Report), Vol. 22, No. CS-3, pp. 77–82, 2017.
 - [22] S. Gulati and B. Kuipers, "High Performance Control for Graceful Motion of an Intelligent Wheelchair," International Conference on Robotics and Automation(ICRA), pp. 3932–3938, 2008.
 - [23] S. Gulati, C. Jhurani, B. Kuipers, and R. Longoria, "A Framework for

- Planning Comfortable and Customizable Motion of an Assistive Mobile Robot," International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4253–4260, 2009.
- [24] Y. Morales, J. Even, N. Kallakuri, T. Ikeda, K. Shinozawa, T. Kondo and N. Hagita. "Visibility Analysis for Autonomous Vehicle Comfortable Navigation," International Conference on Robotics and Automation(ICRA), pp. 2197–2202, 2014.
- [25] Y. Morales, N. Kallakuri, K. Shinozawa, T. Miyashita, and N. Hagita, "Human-Comfortable Navigation for an Autonomous Robotic Wheelchair," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS), 2013.
- [26] Y. Morales, A. Watanabe, F. Ferreri, J. Even, T. Ikeda, K. Shinozawa, T. Miyashita, and N. Hagita, "Including human factors for planning comfortable paths," International Conference on Robotics and Automation(ICRA), pp. 6153–6159, 2015.
- [27] 野村 亮太, 橋本 稜平, 浮田 宗伯, 神原 誠之, 池田 徹志, Yoichi Morales, 渡辺 敦志, 篠沢 一彦, 萩田 紀博, "生理指標に基づく搭乗者の快適性を考慮した車椅子ロボットの経路設計," 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-PRMU2014-86), Vol. 114, No. 356, pp. 123–128, 2014.
- [28] T. Sawabe, M. Kanbara, N. Ukita, T. Ikeda, L. Y. M. Saiki, A. Watanabe, and N. Hagita, "Comfortable Autonomous Navigation Based on Collision Prediction in Blind Occluded Regions," International Conference on Vehicular Electronics and Safety(ICVES), pp.75–80, 2015.
- [29] 萩原 康平, 浮田 宗伯, 神原 誠之, 萩田 紀博, "自動運転車両の搭乗者のための車載映像を用いたストレス要因推定," 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-ITS2016-88), Vol. 116, No. 502, pp. 69–74, 2017.
- [30] 橋本 稜平, 野村 亮太, 神原 誠之, 浮田 宗伯, 池田 徹志, Yoichi Morales, 篠沢一彦, 萩田 紀博, "生理指標に基づいた車椅子ロボットの挙動情報共有による搭乗者の快適性向上の検証, " 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-CNR2014-14), Vol. 114, No. 227, pp. 27–32, 2014.

- [31] 笹井 翔太, 北原 格, 亀田 能成, 太田 友一, 浮田 宗伯, 神原 誠之, 池田 徹志, Yoichi Morales, 篠沢 一彦, 萩田 紀博, "自動走行ストレス: 拡張現実提示によるストレス軽減の試み, " 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-ITS2014-36), pp. 93–98, 2014.
- [32] A. Watanabe, T. Ikeda, Y. Morales, K. Shinozawa, T. Miyashita, and N. Hagita, "Communicating Robotic Navigational Intentions," in Proceedings of The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2015.
- [33] T. Sawabe, S. Ota, M. Kanbara, N. Ukita, T. Ikeda, L. Y. M. Saiki, A. Watanabe, and N. Hagita, "Warning Notification for Potential Collisions to Reduce Passenger Anxiety on Autonomous Wheelchairs," Proc. of The 16th ITS Asia-Pacific Forum, "Intelligent Transport Systems for Everyone's Mobility" published by Springer, 2018.
- [34] A. Telpaz, M. Baltaxe, R. M. Hecht, G. Cohen-Lazry, A. Degani, G. Kamhi, "An Approach for Measurement of Passenger Comfort: Real-Time Classification based on In-Cabin and Exterior Data," 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC), pp. 223–229, 2018.
- [35] J. A. Healey, R. W. Picard, "Detecting Stress during Real-World Driving Tasks using Physiological Sensors," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 156–166, 2005.
- [36] ユニオンツール株式会社 myBeat 心拍センサ. "ウェアラブル心拍センサ WHS-1". <https://www.uniontool-mybeat.com/SHOP/8600010.html>. [Accessed: 2019-1-31]
- [37] Mindfield Biosystems Ltd. "Mindfield® eSense Skin Response". <https://www.mindfield.de/en/>. [Accessed: 2019-1-31]
- [38] 清水 規裕, 齊藤 友幸, 福本 一郎, "色光環境制御による精神疲労低減効果の研究, " 長岡技術科学大学研究報告, No. 25, pp. 87–91, 2003.
- [39] A. R. Subhani, L. Xia, A. S. Malik, "EEG Signals to Measure Mental Stress," International Proceedings of Economics Development and Research, Vol. 40, p. 6, 2012.

- [40] 金子 秀樹, "脳波の概要と知識-生体計測屋より見た脳波の活用入門-, " 繊維製品消費科学, Journal of the Japan Research Association for textile end-uses43(9), pp. 554-561, 2002.
- [41] Grega REpovs: "Dealing with Noise in EEG Recording and Data Analysis," Informatica Medica Slovenica, 2010.
- [42] 志賀 甫, "都市環境の癒し効果について～脳波を用いた心的ストレス測定～, " 計画マネジメント・皆川研究室論文, 2010.
- [43] 井澤 修平, 城月 健太郎, 菅谷 渚, 小川 奈美子, 鈴木 克彦, 野村 忍, "唾液を用いたストレス評価-採取及び測定手順と各唾液中物質の特徴-", 日本補完代替医療学会誌, Vol. 4, No. 3, pp. 91-101, 2007.
- [44] 山口 昌樹, 花輪 尚子, 吉田 博, "唾液アミラーゼ式交感神経モニタの基礎的性能, " 生体医工学, Vol. 45, No. 2, pp. 161-168, 2007.
- [45] N. Hjortskov, D. Rissén, A. K. Blangsted, N. Fallentin, U. Lundberg, and K. Søgaaard, "The effect of mental stress on heart rate variability and blood-pressure during computer work," European Journal of Applied Physiology, Vol. 92, pp. 84-89, 2004.
- [46] 早野 順一郎, "心拍変動による自律神経活動の評価, " 第 31 回 理論心電図研究会, Vol. 29, No. 4, pp. 342-350, 1997.
- [47] 小沢 友紀雄, 齋藤 穎, 平山 篤志, "これだけは知っておきたいやさしい心電図の見方, " 医薬ジャーナル社, p. 19, 2013.
- [48] 辰田 仁美, 北野 尚美, 星野 寛美, 加茂 登志子, 野原 理子, 田井 鉄男, 玉置 哲也, 南條 輝志男, "女性外来における加速度脈波を用いた疲労測定, " 日本職業・災害医学会会誌, Vol. 61, No. 3, pp. 175-179, 2013.
- [49] 坂口 正雄, "発汗の計測-精神性発汗から多量発汗まで, " 繊維製品消費科学 50.4, pp. 303-308, 2009.
- [50] M. E. Dawson, A. M. Schell, D. L. Fillion, "7 The electrodermal system," Handbook of psychophysiology, pp. 159-181, 2007.
- [51] S. Khalfa, P. Isabelle, B. Jean-Pierre, and R. Manon, "Event-related skin conductance responses to musical emotions in humans," Neuroscience Letters, Vol. 328, No. 2, pp. 145-149, 2002.

- [52] M. Takada, T. Ebara, and Y. Sakai, "The Acceleration Plethysmography System as a New Physiological Technology for Evaluating Autonomic Modulations," *Health evaluation and promotion*, Vol. 35, No. 4, pp. 373–377, 2008.
- [53] 松本 佳昭, 森 信彰, 三田 尻涼, 江鐘偉, "心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究, " *ライフサポート*, Vol. 22, No. 3, pp. 19–25, 2010.
- [54] M. J. Hayes and P. R. Smith, "Artifact reduction in photoplethysmography," *Applied optics*, Vol.37, pp. 7437–7446, 1998.
- [55] Gazoo. "自動運転時代の音声認識 – クルマがコンシェルジュになる日". <https://gazoo.com/article/future/170711.html>. [Accessed: 2019-1-31]
- [56] Airitomo –エアリトモ–. "エアリトモ ソファータイプ". http://www.airitmo.jp/?page_id=171. [Accessed: 2019-1-31]
- [57] Android Developers. "SensorEvent". <https://developer.android.com/reference/android/hardware/SensorEvent>. [Accessed: 2019-1-31]
- [58] PLUX wireless biosignals S.A. "BITalino". <http://bitalino.com/en/>. [Accessed: 2019-1-31]
- [59] PLUX wireless biosignals S.A. "OpenSignals". <https://plux.info/index.php/en/11-team/11-opensignals>. [Accessed: 2019-1-31]
- [60] 名古屋大学 未来社会創造機構. "人がつながる "移動" イノベーション拠点". <http://www.coi.nagoya-u.ac.jp/>. [Accessed: 2019-1-31]

発表リスト

- [1] 松本 慎太郎, 磯部 良太, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "再帰性反射材を用いた HUD のための両眼立体視に関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-MVE2017-66) , Vol. 117, No. 483, pp. 1–4, 2018.
- [2] 松本 慎太郎, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "自動走行ストレスの推定を目的とした車両・外部環境・ユーザデータの収集および解析," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, p. 114, 2018.
- [3] 松本 慎太郎, 澤邊 太志, 神原 誠之, 萩田 紀博, "スマートフォンを用いた自動走行ストレス要因の推定のための実環境データ収集," 電子情報通信学会技術研究報告 (IEICE-ITS2018-45) , Vol. 118, No. 343, pp. 193–198, 2018.