解説

自動運転への過信・依存の評価を目的とした ドライバ状態の計測と解析†

荒川 俊也*

1. はじめに

本論は、自動運転に対する過信・依存の評価を目的として、生体情報に基づくドライバ状態の計測と解析について述べたものである。

現在、自動運転車の開発が各国で進められている。レオナルド・ダ・ヴィンチが機械仕掛けの自動車を考えた時代から人類は自動運転車を夢見てきたと言われている。古くは 1939 年にゼネラル・モーターズが、ニューヨーク万国博覧会で「フューチャラマ (Futurama)」と呼ばれる概念展示を行ったことがきっかけとなり、自動運転のアイデアが一般的に広まったと言われている [1, 2]。その後、様々な研究機関や大学などで自動運転車が開発され、我が国においては 2008 年から 2012 年にかけて、安全で環境にやさしい次世代の物流輸送システムの実現を目指した大型トラックの隊列自動走行技術が開発されると共に、2014 年度より政府が中心となり自動運転車の実用化を目指した取り組み（SIP-adus (Automated Driving for Universal Service)）が開始されている [3]。現在は自動運転の早期実現に向けて産学官が密接に連携した取り組みを推進しており、国土交通省も、自動運転戦略本部の下、車両の安全確保等に関するルール整備を実施している [4]。

我が国を取り巻く環境を見てみると、少子高齢化や都市部の人工集中をはじめとした社会構造の変化を背景に、道路交通を巡る様々な社会的な課題の深刻化が懸念されている。例えば高齢者が原因の交通事故割合の増加や、人口減少・過疎化が進むことによる公共交通への需要減少や、それに伴う地方交通事業者ならびに地方公共団体の財政逼迫、運転者不足などの複合的な要因が相まって、地域公共交通ネットワークの維持が一層困難となり、交通空白地帯の拡大が懸念されている。そして、高齢者をはじめとした移動弱者の移動手段確保が大きな課題として顕在化する恐れがある [5]。

他方で、三大都市圏を中心とした都市部では、経済活動や人口の更なる集中化やインバウンド需要の増加を背景として交通渋滞や混雑が発生すれば、経済損失や地球温暖化等の要因にな

表 1 自動運転のレベル

ドライバによる監視	レベル 0	運転支援なし
	レベル 1	運転支援 システムが前後・左右の いずれかの車両制御を実施
	レベル 2	特定条件下での運転支援機能 (レベル 1 の組み合わせ)
システムによる監視	レベル 3	条件付き自動運転
	レベル 4	特定条件下における完全自動 運転
	レベル 5	完全自動運転

ることが懸念されている [4]。加えて、物流においては、e コマースの更なる拡大等による物流需要の拡大が見込まれている中、職業ドライバとして中高年層運転者に依存している現状、物流の担い手不足も課題として挙げられている [5]。

これらの問題を解決する手段としても自動運転への期待が高まっている。さて、自動運転と十把一絡げに考えられている風潮があるが、実際には、自動化されている機能によって段階毎にレベルが存在する。レベル毎にどのような機能を備えているか、表 1 にまとめた。なお、自動運転レベルの定義は、首相官邸ホームページ「官民 ITS 構想・ロードマップ 2017」を参考にしている [6]。自動運転レベル 0 からレベル 2 までは、安全運転に係る監視や対応の主体がドライバであるが、レベル 3 から 5 までは、監視や対応の主体がシステムである、という点で大きな違いがある。レベル 1 または 2 の運転自動化システム、もしくはレベル 3 の自動運転システムの性能が向上すればするほど、ドライバの運転機会が減少することによる運転技能の低下だけでなく、システムに対する過信が生じることで、システムの機能失陥時にドライバが対応できない状況が起り得る [7]。

ドライバの負の適応には、システムに対する過信と依存があると言われている [8]。システムに対する過信については、「機械を信頼してよい状況ではないにもかかわらず、そのことに気が付かないまま下した『この機械は信頼できる』との誤った主観的判断」であるという説明がある [9]。これを踏まえ、自動運転について考えると、「ドライバがシステムに対して過信している」と判断できる条件は、以下の 2 つが同時に起こる場合という考えがある [7]。

- (1) ドライバがシステムを信頼している。
- (2) システムが対応できない状況になっている。

† Measurement and Analysis of the Driver's State to Evaluate Overconfidence and Reliance on Autonomous Driving
Toshiya ARAKAWA

* 愛知工科大学 工学部 機械システム工学科
Department of Mechanical Systems Engineering, Aichi University of Technology

劉らは、ドライバがシステムの状態や機能の限界を理解できる場合には、システムに対する信頼・不信を適切に判断できるものとしている [7]。一方、ドライバがシステムに対する正しい状況認識ができない場合には、過信（過剰信頼）と過剰不信に陥りやすくなるとしている [7]。

このように過信については概念が整理されつつある。その一方で、システムに対する依存については、整理の途上であると言えるため、様々な考えがあろう。そもそも依存とは、「特定の物質や行為・過程に対して、やめたくても、やめられない、程々にできない状態」であるとされる [10]。一般的な機械や、自動車の立場で考えると、「機械を用いて部分をこなしながらも、全体像が見えていない状態にある」状態や [11]、「システムの機能についてドライバが思考および行動の質を低下させること」とする見方 [12] がある。以上より、過信と依存は、どちらも、ドライバが自動運転のシステムを信頼しているということと同じであろう。しかし、過信は、システムがドライバの要求に対して対応できないか否か、ということであり、依存は、ドライバがシステムの全体像を把握していない（どこまで要求できるか理解していない）ということである、という違いがあると考えられる。過信と依存の問題は、それらに起因する事故が増えていることもあり [13]、近年重要な問題になっている。自動運転に対する過信や依存に関する研究はこれまでも行われてきているが [14, 15] 近年増加傾向にある印象である。

因みに、世間、特にマスコミは、自動運転レベル 1 から 5 を区別せず、一律に「自動運転」と称している印象であるが、以上の内容を考慮すると、これは極めて乱暴であり、重大な誤解を招く。特に、自動運転レベル 1 および 2 が搭載されたシステムを用いるにあたって、監視と対応がドライバ主体であるにも拘らず、システム主体であると思込み、過信や依存を招く危険性がある。そのため、自動運転レベル 1 および 2 が搭載されたシステムは「運転支援」、レベル 3 から 5 が搭載されたシステムを「自動運転」と称し、誤解を招かないようにすべきである。

本論では、ドライバが自動運転に対する過信・依存に陥った際の生体情報の特徴について、これまでに筆者らが実験および検討した内容について述べる。本論で述べる実験は 2 つである。1 つは、過信・依存を生じることに関する検証であり、もう 1 つは、自動運転のシステムが破綻したことを想定した状況下における、ドライバのメンタルワークロードや認知・判断に関する検証である。

本論の構成は次の通りである。第 2 節では、ドライバが自動運転のシステムに対して過信・依存を生じることを検証する実験について述べる。第 3 節では、自動運転のシステムが破綻、もしくはドライバにシステムから急遽権限移譲されたことを想定した状況下におけるドライバ状態の評価実験について述べる。第 4 節はまとめである。

2. 過信・依存発生の検証

2.1 実験環境

ドライバが、自動運転のシステムに対して、過信・依存を生じる可能性を検証する実験を行った。実験は男子大学生 5 名

図 1 運転時の様子

(平均年齢 21 歳) に対して行った。それぞれの実験協力者はドライビングシミュレータ (D3sim, 三菱プレジジョン製) に乗り、市街地を模した環境を運転した。最初に自動運転レベル 0 を想定した状況（アクセル、ブレーキ、ステアリング操作全て実験協力者自身で行い、自動車側が自動でこれらを制御することは無い。以降、MD (Manual Driving, マニュアル運転) と称す。) で 15 分運転した。その後休憩を挟み、次に、自動運転レベル 3 以上を想定した状況（車両の制御は全てシステム側で行い、システムが主体となる運転。以降、AD (Autonomous Driving, 自動運転) と称す。) で 15 分運転した。運転中は実験協力者の視認行動を計測するため、視線計測装置 (T.K.K.2950 TalkEye Lite, 竹井機器工業株式会社製) を装着した状態で運転した。また、運転中の実験協力者の顔画像を記録するために、ステアリング部に CMOS カメラ (YT-704, ワイケー無線株式会社製) を装着した。加えて、実験協力者が、ブレーキペダルに足を乗せる、もしくはブレーキペダルを踏む行動（ブレーキ挙動）を計測するために、実験協力者の足元部に赤外線カメラ (YM-203C, ワイケー無線株式会社製) を装着した。実験時の様子についてはビデオカメラ (Eberio, JVC 製) を用いて記録した。これらの映像を画面分割切替器 (AQ-400, キャロットシステムズ株式会社製) を用いて 1 画面とし、この画面を DV デッキ (GV-HD700, ソニー株式会社製) を用いて記録した。運転時の様子を図 1 に示す。図 1 において、左上は実験協力者の表情、右上は実験協力者のブレーキ挙動、左下は運転時の状況を示している。なお、全ての実験協力者に対し、AD 運転開始前に、「自動運転のシステムは途中で作動しなくなる可能性がある」という教示をしている。但し、実際には、作動しなくなることはない。

なお、本実験は、愛知工科大学ヒトを対象とする研究審査の承認を得て実施している（承認番号：#28-5）。

2.2 実験結果

2.2.1 視線停留割合について

図 2 に、実験協力者のうち、1 名（実験協力者 A）の、視線停留割合の時系列変化を示す。(a) は MD, (b) は AD における運転を示している。横軸は時間経過を、縦軸は、視線挙動の水平方向成分を示している。縦軸について、0 [deg] は実験協力者正面（自車進行方向）を示し、負値は実験協力者から見て左

図2 実験協力者 A の運転時の視線停留割合の変化. (a): MD 時, (b): AD 時

方向、正值は実験協力者から見て右方向を示している。また、色が白い箇所ほど、その時刻において、当該箇所を注視する割合が高いことを意味している。逆に、色が黒い箇所ほど、当該箇所を殆ど注視していないことを意味している。

図 2(a) より、MD のときは、殆ど全ての時間で、自車進行方向を注視している。一方で、図 2(b) より、AD のときは、基本的には自車進行方向を注視しているものの、時折、自車進行方向とは異なる領域、例えば -60 [deg] 近傍や $+60$ [deg] 近傍を注視する割合が増えている。言い換えると、運転とは直接関係の無い箇所を注視するようになっている。MD では、自動運転レベル 0 を想定していることもあり、先行車に追突しないようにしたり、自車進行方向の障害物に対して注意を払っていることが考えられる。しかし、AD では、アクセル、ブレーキ、ステアリング操作を自ら行う必要もないこともあり、実験協力者自身で周辺環境を認知・判断する必要がない。そのため、 -60 [deg] 近傍や $+60$ [deg] 近傍といった運転に関係のない領域を注視するようになっていると考えられる。筆者らの先行研究 [16] では、運転の合理化が進み、ドライバが漫然状態に遷移した際に、視線の水平方向成分のばらつきが大きくなり、先行者以外の領域を注視する傾向になることを示した。このことから考えると、AD における視線停留の状況は、運転の合理化が進んだことによる漫然化と類似した状態にあることが示唆される。このような視線停留割合の推移は、実験協力者 A 以外の 2 名についても同様であった。

2.2.2 ブレーキ挙動について

次に、実験協力者の足元部を撮影した動画を基に、運転開始時から終了時まで、実験協力者がブレーキ挙動をどの程度実施したかを検証する。自動運転のシステムに対し過信・依存している場合は、ブレーキ挙動が殆ど生じず、一方、システムに対して過信・依存が発生していない場合は、ブレーキ挙動が頻繁に発生するものと考えられる。実験協力者 A のブレーキ挙動の変化を図 3 に示す。なお、図 3 において、薄い灰色の線は、AD によるブレーキを示し、濃い灰色の線は、実験協力者 A によるブレーキを示す。薄い灰色の線と濃い灰色の線が完全にオーバーラップしていれば、ドライバは、自動運転のシステム

図3 実験協力者 A の運転時のブレーキ挙動の変化

表2 AD によるブレーキ挙動に対する、実験協力者自身のブレーキ行動の割合

Participant No.	Braking rate [%]
A	42.2
B	98.8
C	49.2
D	27.9
E	13.3

を過信・依存しておらず、自らの判断を頼りにしてブレーキ挙動を生じていると判断できる。

全ての実験協力者について、全運転時間における、AD 時のブレーキ挙動に対する、実験協力者自身のブレーキ行動の割合を示したものを表 2 に示す。実験協力者 B 以外の全ての実験協力者は、AD 時のブレーキ挙動に対する、実験協力者自身のブレーキ挙動の割合が高々 50% 程度であり、多かれ少なかれ、自動運転システムに対する過信・依存傾向が見られるものと示唆される。先行研究 [17] では、自動運転中のドライバ行動において、先行者の減速・停止に対して、ブレーキペダルに足を構えたドライバが約 20% であるという知見が得られている。本論の実験は、この先行研究のような、先行者の減速・停止というシチュエーションではない。しかし、自動運転システムに対する過信・依存という観点では、先行研究 [17] の結果の妥当性を追認していると考えられる。

2.2.3 覚醒度の推移について

最後に、実験協力者の顔画像を基に、AD 運転時における覚醒度の推定を試みた。覚醒度推定にあたっては NEDO の評価法を用いた [18]。NEDO の評価法とは、実験協力者の顔画像を数人で観測し、それぞれの顔画像が下記 (1) から (5) に示された状態であれば当該の眠気レベルであるという合議制（多数決）で判定するというものである。

- (1) 眠気レベル 1：全く眠くなさそう（視線の移動が早く頻繁である。瞬きは 2 秒に 2 回くらいの安定した周期、動きが活発で身体の動きを伴う）
- (2) 眠気レベル 2：やや眠そう（唇が開いている、視線移動の動きが遅い）
- (3) 眠気レベル 3：眠そう（瞬きはゆっくりと頻発、口の動きがある、座り直しあり、顔に手をやる）
- (4) 眠気レベル 4：かなり眠そう（意識的と思われる瞬きがあ

図4 実験協力者 A の覚醒度の推移

る、頭を振る・肩の上下動などの無用な身体全体の動きがある、あくびは頻発し深呼吸も見られる、瞬きも視線の動きも遅い)

- (5) 眠気レベル 5：非常に眠そう（瞼を閉じる、頭が前に傾く、頭が後ろに倒れる）

NEDO の評価法の厳密なやり方としては、5 秒毎に 5 段階の評価点を付けるというものであり、2 名で行うことが推奨されている。先行研究 [19] では、評価において、顔面表情や動作による眠気具合の変化点を捉えることが最も重要であるため、明らかに表情や動作の変化が起こった時間だけ評価点をつける方法としており、本実験でもこの方法を採用した。実験協力者 A の眠気レベルの推移を図 4 に示す。図 4 より、実験協力者 A の眠気レベルは、運転開始時は眠気レベル 1 であったが、高々約 15 分の運転であっても、運転終了時には、眠気レベル 3 に上昇していることがわかる。実際、実験協力者 A は、運転終了後に、大あくびをして伸びをする、という行動が見受けられた。このような覚醒度の推移は、実験協力者 A 以外の 3 名についても同様であった。自動運転時の覚醒度の低下については、他の先行研究 [20, 21] でも示されており、本結果は妥当であると示唆される。

2.2.4 例外を示した実験協力者について

これまでに示した、視線停留割合、ブレーキ挙動、覚醒度の推移については、5 名中 4 名、同様の傾向を示している。しかし、実験協力者 B については、他の実験協力者と異なる傾向を示している。紙数の関係で図は省略するが、視線停留割合については、MD における運転時以上に、AD における運転時に、自車進行方向に視線が殆ど停留していた。ブレーキ挙動については、表 2 より、AD によるブレーキ挙動に対する、実験協力者 B 自身のブレーキ挙動の割合は、98.8% であった。事後の質問では、「ドライビングシミュレータによる運転であることは知っているものの、自動運転システムを信頼できず、何かあったら先行車に追突するのではないかという気持ちがあり、過剰に緊張していた。前方を注視し、自車進行方向に対して常に気を配っていた。そのため、ブレーキペダルに、ほぼ常に足を乗せていた」とのことであった。基本的には、自動運転システムに対する過信・依存は発生しやすいが、実験協力者 B の結果から、ドライバへの教示および教示に対するドライバの受け止め方によっては、過信・依存を抑制できると示唆される。

3. システム破綻時におけるドライバ状態評価

自動運転レベル 3 では、「システムが全ての運転タスクを実施するが、システムの介入要求等に対してドライバが適切に対応することが必要」とされている [22]。すなわち、システムの介入要求等があったときに、ドライバが要求に応えられるような状態にある必要がある。しかし、覚醒度の低下や、漫然などの状態下では、要求に適切に応えられるとは言えない。

さて、自動運転レベル 3 以上を実現するには、現在安全運転支援システムで実用化されている信頼性において大幅な技術革新が求められている [3]。その一方で、機械は、予想外のときに故障をすることがあれば、突然壊れて使い物にならなくなってしまいうこともあり、絶対に壊れない機械や設備を作ることは不可能であるとされている [23]。従って、ドライバがシステムの介入要求を受ける事態は起こり得る話であり、自動運転レベル 3 を実現するにあたっては、システムの介入要求を受ける際に、ドライバが、介入要求に対応できるに相応しい状態である必要がある。しかし、前節で述べたように、ドライバは、自動運転システムに対して過信・依存する可能性が示唆されていることから、システムの介入要件に対応できない状態にある可能性が考えられる。このことは、過去に発生した、自動運転システムにおける事故からも示唆されている。例えば、2018 年 3 月に、カリフォルニア州で発生した、米国の電気自動車専門メーカーの車の自損事故の例が挙げられる [24]。この事故では、オートパイロット時に緊急事態が発生し、ドライバがハンドルを握り、対応することを促す警報を出していたにも拘らず、ドライバがそれに対応せず、衝突回避行動を行わなかったために発生した。

ここでは、MD から AD、AD から MD とシステムの状態が遷移した際に、自動運転に対する過信・依存に起因して、ドライバが、システムの介入要件に対応できない状態になり得ることを検証する。

3.1 実験環境

実験は男性 13 名、女性 1 名 (21 歳～46 歳) に対して行った。実験協力者はドライビングシミュレータ (D3sim, 三菱プレシジョン製) に乗り、市街地を模した環境を運転した。運転は 3 週間実施し、1 週目は MD、2 週目は AD、3 週目は MD で運転をした。1 週毎に MD と AD を切り替えるという状況を設定した理由は、シミュレータの仕様上、MD と AD それぞれの遷移を、運転中に発生させることが不可能であるためである。なお、3 週目の MD は、自動運転システムの破綻を想定したものである。2.1 節と同様に、MD は、自動運転レベル 0 を想定した状況であり、AD は、自動運転レベル 3 以上を想定した状況とした。過去の調査結果を参照し [25]、各週の運転は平日の 3 日間実施した。従って、実験協力者全員、3 日 / 週 × 3 週 = 9 日運転を行った。それぞれの実験協力者の各回の運転は、同じルートとした。また、サーカディアンリズムを考慮し [26]、各実験協力者の運転開始時刻は全ての日で極力同じにするようにした。各回の運転については、前節と同様に、MD および AD 共に約 15 分とした。全ての実験協力者は、運転中の視認行動

図5 運転時の様子

を計測するため、視線計測装置（T.K.K.2950 TalkEye Lite, 竹井機器工業株式会社製）、実験協力者の運転時の血圧を計測するため、連続血圧計測装置（Radia press RBP-100, 株式会社ケーアンドエス製）、および前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度（oxy-Hb）を計測するため、携帯型脳活動計測装置（HOT-1000, NeU 株式会社製）を装着した。加えて、ドライバの座圧を調べるために、体圧検知センサ（SR ソフトビジョン, 住友理工株式会社製）をシート座面に装着した。更に、運転前および運転後、唾液アミラーゼモニタ（CM-2.1, ニプロ株式会社製）を用いて、唾液アミラーゼ濃度を計測した。唾液アミラーゼ濃度はストレス指標と言われているため、MD および AD において運転前後のストレスの増減を評価することが可能である。運転時の様子を図5に示す。図5において、左上は実験協力者の表情、右上は運転時の状況、左下は実験協力者のブレーキ挙動、右下は実験協力者の視線挙動を示している。

なお、本実験は、愛知工科大学ヒトを対象とする研究審査の承認を得て実施している（承認番号：#28-5）。

3.2 実験結果

紙数の関係から、血圧の結果と、酸素化ヘモグロビン濃度の結果についてのみ述べる。その他の計測結果についての詳細は文献 [27] を参照されたい。なお、第1週目1日目から3日目のMDをM1, M2 および M3, 第2週目1日目から3日目のADをA1, A2 および A3, 第3週目1日目から3日目のMDをM4, M5 および M6 と記す。また、各実験協力者毎に、10 [sec] 毎を1フレームと称し、フレーム単位でデータを算出している。

3.2.1 血圧について

実験協力者14名の、M1からM3, A1からA3, およびM4からM6における平均血圧を図6に示す。図6の上段は、M1からM3の変化を、中段は、A1からA3の変化を、下段は、M4からM6の変化を示している。ここで、図6は、運転開始時の血圧からの相対的な変化を示しており、緊張やストレス等によって、値が増加する。先行研究では、およそ20分の運転で、血圧が30から40 [mmHg] 上昇することが報告されている [28]。そのため、図6における上昇傾向は、自動車運転時の自然な上昇であると考えることが妥当である。

A1からA3と、M1からM3を比較すると、前者の方が血

図6 実験協力者14名の平均血圧の変化

圧の変化は後者よりも大きい傾向にある。これは、実験協力者が、ADによって、自ら操縦せず、システム側でアクセル、ブレーキ、ステアリング操作全てを行うことに対する違和感を感じていることに起因すると考えられる。加えて、数名の実験協力者は、ADによる運転中に、極めて眠いと申告している。先行研究では、眠気に抗うときに血圧が増加することが示唆されている [29]。以上により、MDに比べてADのほうが血圧が増加しているものと考えられる。しかし、本内容は、現時点において、あくまでも推測の域に過ぎない。次に、M4からM6と、M1からM3を比較すると、これらの血圧増加の傾向は類似しているが、血圧の平均値は、M4からM6の方が、M1からM3の場合に比べて大きくなっている。M4, M5, M6を比較すると、 $M4 < M5 < M6$ と、血圧が増加傾向にある。これは、A1からA3においては、実験協力者のメンタルワークロードがMD時に比べて低い一方、ADからMDに遷移した後に、実験協力者自身で認知・判断しなければならないという意識付けに基づき、メンタルワークロードが増加したことに起因すると推測される。

3.2.2 前頭部酸素化ヘモグロビン濃度について

左脳は論理的思考および判断を司ると言われている [30]。本

図7 実験協力者14名の左前頭部の平均酸素化ヘモグロビン濃度の変化

実験では、MDおよびADにおける認知・判断について検証するため、左前頭部の平均酸素化ヘモグロビン濃度の変化を調べた。実験協力者14名の、M1からM3、A1からA3、およびM4からM6における左前頭部酸素化ヘモグロビン濃度を図7に示す。図7の上段は、M1からM3の変化を、中段は、A1からA3の変化を、下段は、M4からM6の変化を示している。ここで、図7は、運転開始時の血圧からの相対的な変化を示しており、値が大きいくほど、実験協力者が、論理的思考や判断を行っている」と解釈できる。

まず、M1からM3について考察する。平均酸素化ヘモグロビン濃度は、M3が最も高く、M1が最も低い。MDにおいては、実験協力者が進むべきルートはスクリーン上に表示されナビゲートされるため(図5右上)、実験において初回の運転であるM1では、実験協力者は特にルートについて意識することなく、ナビゲーションに従って運転している。しかし、M2、M3と、運転を重ねるに従って、ナビゲーション表示を意識せずに、過去の運転で走行したルートを思い出しながら走行することに起因して、酸素化ヘモグロビン濃度が増加していると考えられる。M2に比べてM3の方が酸素化ヘモグロビン濃度が増加しているのは、運転を重ねることにより、走行ルートを思

い出す頻度が増加しているためと推測される。

次に、A1からA3について考察する。A1とA3の平均酸素化ヘモグロビン濃度は、MD時と同等か、低い値を取っている傾向にある。このことは、A1とA3では、実験協力者が、運転に対して意識を働かせていないことが示唆される。一方で、A2の酸素化ヘモグロビン濃度の平均値は、A1およびA3に比べると高い値を取っている。この理由は明確ではないが、実験後に、複数の実験協力者から、AD時は運転が単調、退屈であるため、運転とは関係のない他のことを考えていたというコメントがあった。従って、運転とは関係のない他のことを考えながら運転をしていたということにより、左前頭部の酸素化ヘモグロビン濃度が増加しているものと思われる。但し、A3ではA2と同様の傾向にないことについては、今後更に考察の必要がある。

ADの後のシステム破綻を想定したMD、すなわち、M4からM6については、M1からM3、および、A1からA3に比べて、酸素化ヘモグロビン濃度が減少する傾向が著しい。ADでは、実験協力者は、センサに頼って運転すれば良いこともあり、基本的に、周辺環境に注意を払う必要がない。しかし、システム破綻を想定したMDでは、実験協力者は、ADを経験した後ということを鑑みると、周辺環境を見てはいるものの、M1からM3と同等の認知・判断度合いで周辺環境を認知・判断していない可能性が考えられる。いわば、「意識の脇見」[31]と似たような状態にあることが考えられる。一方で、3.2.1節の考察に従うと、ドライバは、自分で認知・判断しなければならないという意識を持っていると考えられる。そのため、意識と実際が乖離している状況である可能性が示唆される。このことから、システムからの介入要求があり、ADからMDに遷移した際には、周辺環境を認知・判断しなければならない意識はあっても、実際には認知・判断できる状況に至っておらず、介入要求に応えるには不適切な状態である可能性が示唆される。この「意識の脇見」に似た状態は、ドライバが、システムに介入しなければならない状態であっても、適切に対応できない可能性を示唆していると考えられる。

4. まとめ

本論では、自動運転に対する過信・依存、および、システム破綻を想定した後のドライバ状態を、ドライビングシミュレータを用いた実験を通じて計測・解析した結果について述べた。実験条件の設定などの難しさなどもあり、推測の域を超えない内容もあるが、本論で述べた実験と考察を通じ、自動運転時の過信・依存について、十分とは言えないが、一定の知見が得られたものと判断している。

筆者は決して自動運転それ自体を否定するつもりはない。自動運転はQOL (Quality of Life)、利便性を向上させると共に、今後の高齢化社会に向けて必要になる技術である。しかし、同時に、自動運転に対しては、その利便性のみが誇張されており、やや美化、礼賛され過ぎている感もある。重要なことは、自動運転技術の長所と短所をそれぞれ理解し、過信しないようにすることであると考えている。また、未だに、世間では、「運転支援」と「自動運転」を混在させ、誤解を招いている印象もあ

る。このことが、自動運転の長所と短所の理解の妨げになっている一因でもある。そのためには、「システムはこの程度までならできる (この程度しかできない)」「システムは破綻する可能性がある」「ドライバは自動運転に過信・依存する可能性がある」ということを意識した上で、今後、どのように自動運転と接するべきか、各々がしっかりと考えるべきである。

謝辞

本研究は、科研費若手研究 (B)「自動運転のあるべき姿とは？ードライバ負荷軽減と依存、システムダウン後の復元から」(課題番号: 15K21486) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 津川定之: “自動運転システムの展望,” *ITASS Review*, Vol.37, No.3, pp. 39-47, 2013.
- [2] WIRED, 写真で見る「自動運転車の歴史」: <http://wired.jp/2012/02/09/autonomous-vehicle-history/> [accessed Feb. 5, 2020]
- [3] 須田義大, 青木啓二: “自動運転技術の開発動向と技術課題,” 情報管理, Vol.57, No.11, pp. 809-817, 2015.
- [4] 国土交通省自動車局技術政策課, 自動運転を巡る国内・国際動向: <http://www.mlit.go.jp/common/001279905.pdf> [accessed Feb. 5, 2020]
- [5] 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 2019: <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20190607/siryou9.pdf> [accessed Feb. 5, 2020]
- [6] 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 2017 ~多様な高度自動運転システムの社会実装に向けて~: <https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20170530/roadmap.pdf> [accessed Feb. 7, 2020]
- [7] 劉海龍, 平岡敏洋, 田中誠也: “運転自動化システムに対する過信発生メカニズムと運転行動過程のモデル化,” 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 講演論文集, 2018.
- [8] 増田貴之, 芳賀繁: “運転行動モデルと事故防止,” 日本信頼性学会誌, Vol.31, No.3, pp. 223-227, 2009.
- [9] 稲垣敏之: “人と機械の共生のデザイン: 「人間中心の自動化」を探る,” 森北出版, 2012.
- [10] 厚生労働省, 依存症についてもっと知りたい方へ: <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000149274.html> [accessed Feb. 5, 2020]
- [11] Dive into Myself, システムや機械の利用と依存: <https://diveintomyself.funfairfare.com/> [accessed Feb. 5, 2020]
- [12] 金道敏樹: “自動車からの Human-Agent Interaction への期待,” HAI シンポジウム予稿集, 1D-4, 2012.
- [13] ニュースイッチ, テスラの自動運転事故が浮き彫りにしたドライバの過信: <https://newswitch.jp/p/12564> [accessed Apr. 4, 2020]
- [14] 伊藤誠: “負荷軽減のための運転支援システムに対する過信をもたらす要因の探究,” 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.11, pp. 555-561, 2009.
- [15] 鈴木桂輔, 丸茂喜高: “システム依存を抑制する運転支援装置の制御方法,” 日本機械学会論文集 C 編, Vol.70, No.699, pp. 3279-3285, 2004.
- [16] T. Arakawa, N. Matsuo, and M. Kinoshita: “Trial Evaluation on Drivers' Unfocused Attention Using Gaze Analysis,” *Review of Automotive Engineering*, Vol.27, No.2, pp. 357-359, 2006.
- [17] 大谷亮, 江上嘉典, 佐藤健治, 三井一志, 阿部正明: “自動運転状況下におけるドライバへの情報伝達方法—低中度の自動運転システムからの情報伝達が運転行動に及ぼす影響—,” 自動車技術会論文集, Vol.47, No.4, pp. 961-966, 2016.
- [18] 産業科学技術研究開発プロジェクト「人間感覚計測応用技術」: 人間感覚計測マニュアル 第一編 (人間感覚評価指標・ガイドライン), 1999.
- [19] 中野泰彦, 宮川あゆ, 佐野聡: “ドライバの覚醒度検知技術,” *FUJITSU*, Vol.54, No.4, pp. 416-420, 2008.
- [20] 本間亮平, 若杉貴史, 小高賢二: “高度自動運転における権限委譲方法の基礎的検討—自動運転時の覚醒度低下や運転以外の作業と権限移譲時のドライバ対応行動—,” 自動車技術会論文集, Vol.47, No.2, pp. 537-542, 2016.
- [21] J. C. F. de Winter, R. Happee, M. H. Martens, and N. A. Stanton: “Effects of Adaptive Cruise Control and Highly Automated Driving on Workload and Situation Awareness: A Review of the Empirical Evidence,” *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, Vol.27, pp. 196-217, 2014.
- [22] 国土交通省, 自動運転のレベル分けについて: <http://www.mlit.go.jp/common/001226541.pdf> [accessed Feb. 11, 2020]
- [23] 向殿政男: 入門テキスト 安全学, 東洋経済新報社, 2016.
- [24] BBC NEWS, Tesla in fatal California crash was on Autopilot: <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-43604440> [accessed Feb. 5, 2020]
- [25] @nifty ニュース, 車についてのアンケート・ランキング: http://chosa.nifty.com/travel/chosa_report_A20120824/5/?theme=A20120824&report=5&theme=A20120824&report=5 [accessed Apr. 6, 2020]
- [26] F. C. Baker and H. S. Driver: “Circadian rhythms, sleep, and the menstrual cycle,” *Sleep Medicine*, Vol.8, No.6, pp. 613-622, 2007.
- [27] T. Arakawa, R. Hibi, and T. Fujishiro: “Psychophysical assessment of a driver's mental state in autonomous vehicles,” *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Vol.124, pp. 587-610, 2019.
- [28] 万井正人: “自動車運転中の連続血圧測定,” 人間工学, Vol.3, No.1, pp. 45-52, 1967.
- [29] 大見拓寛: “運転者の居眠り状態評価の画像センサ,” 人工臓器, Vol.42, No.1, pp. 99-103, 2013.
- [30] B. L. Seaward: *Managing Stress: Principles and Strategies for Health and Well-Being*, Jones & Bartlett Learning, 2011.
- [31] 内田信行, 浅野陽一, 横谷靖, 植田俊彦, 飯星明: “「意識の脇見」を伴う対話時における運転者の視覚情報処理,” 自動車技術会論文集, Vol.39, No.6, pp. 6_217-6_222, 2008.

(2020 年 4 月 7 日 受付)

[問い合わせ先]

〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2

愛知工科大学 工学部 機械システム工学科

荒川 俊也

E-mail: arakawa@arakawalab.org

著者紹介

荒川 俊也 [正会員]

2001 年早稲田大学理工学部機械工学科卒業。2003 年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士前期課程終了。2003-2013 年富士重工業株式会社 (現: 株式会社 SUBARU) 勤務。2012 年総合研究大学院大学複合科学研究科統計科学専攻博士後期課程終了。2013 年愛知工科大学工学部機械システム工学科准教授。2016 年同大学同学部同学科教授。2020 年同大学次世代自動車システム研究所所長。2017 年より政策研究大学院大学政策研究センター客員研究員。日本知能情報ファジィ学会、自動車技術会、計測自動制御学会などの会員。博士 (学術)。