

## 生体情報を用いた自動運転トラックを牽引するドライバ挙動の定量的評価 Quantitative evaluation of human-operated truck driver towing self-driving truck using bio-signal

湯田 恵美<sup>†</sup> 金子 格<sup>†</sup>  
Emi Yuda Itaru Kaneko

### 1. 諸言

トラックドライバの不足は物流環境に影響し、危機的な状況にある。近未来には様々な分野にも影響を及ぼすことが予想され、高齢化の進行によって労働力の不足を補うことも難しい。トラック自動運転の隊列走行技術は、このような物流環境の諸問題を解決できるものとして期待されており、ドライバ1名が操作するトラックの後ろに完全無人の自動運転車両を配置して走行する実証実験が進んでいる[1]。しかし、自動運転トラックを牽引するドライバの心理的・生理的負荷については研究が進んでいない状況にある[2]。本稿では、安全な自動運転システムの開発に向けて、ドライバの生体データの解析および生理評価の重要性について概説する。

### 2. 自動運転とトラック隊列走行

自動運転は、米運輸省道路交通安全局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) が発表した自動運転レベルで定義されており、レベル 0 (運転自動化なし) からレベル 5 (完全運転自動化) に至るまでの 6 段階の基準で評価されている[3]。重大な自動車事故の 94% は、人為的ミスと選択が原因であることが NHTSA の調査から明らかになっており[4]。自動運転支援技術は人々がより安全に運転できる車社会を支援し、衝突事故や交通事故死傷者を減らすことができるものとして期待されている。

日本では 2018 年より、トラックを電子連結技術 (車間間通信) を用いて一体制御することで、数台のトラックが隊列車群を構成し走行する実証実験が開始された[1]。自動運転による隊列走行技術は、省エネ効果や省人化によるドライバの負荷軽減が見込まれるほか、安全性や運行効率の向上にもつながる技術である。日本では、電子連結技術を電子牽引とみなして先頭車両は有人、後続車両は無人で隊列走行とした場合の実現可能性について検討が進められている。このプロジェクトでは、自動化されたトラックが高速道路をテスト走行する実験が既に行われている。

テスト走行では、関東の高速道路を 3 台の車両 12m のトラック群が約 35m 間隔で配置され、80kph で走行した。本実験の目的は 1 名のドライバが操作するトラックの後に完全無人の車両を配置することであり、予備的にテスト走行では、自動運転機能を有した各トラックにはドライバが乗車した[5]。自動運転の各車両には、クルーズコントロール、カメラ、車両間通信システムおよび各トラックとその前方の物体との間の距離を測定可能なミリ波レーダーが装備された。これらの技術により、自動運転トラック車両は速度の変化をすばやく検出して応答することができるため、短

い車間距離であっても安全性を保つことが可能である。また、隊列走行の手法は、車間距離を狭くすることで空気抵抗が減少し、燃料効率が向上する[5]。

隊列走行の運用については、車両の技術的課題以外の課題も指摘されている。例えば、隊列走行運行管理システムはその変化を先取りし、隊列を安全に運行させるために不可欠なネットワークである[6-9]。また、自動運転トラックを牽引する先頭車ドライバの責任範囲や運行供用者責任の明確化といった社会科学的な問題もあり、道路設備で整備すべき項目もある。加えて、自動運転トラックが普及するためには、先頭車両を牽引するドライバの心理的・生理的な負荷についても検討が必要である。Yuda ら(2021)は、テスト走行時により計測された先頭ドライバの生体信号を解析して、その生理指標からその生理的・感性的側面の推定を試みている[2]。1 名のドライバが自動運転トラックの小隊を牽引する際のドライバの挙動の定量的評価手法についての研究を進めている。

### 3. ドライバの挙動と生理評価

自律神経活動は、情動・感情、疲労、ストレスなどの指標として計測評価され、自律神経系反応は、意思とは無関係に活動し心理的事象を反映するものとして知られている[10]。ヒトの自律神経状態は、心拍間の時間間隔の変動の生理学的現象である心拍変動 (Heart rate variability, HRV) から推定することができる。HRV はビート間 (心電図 1 拍毎) の間隔の変動によって記録される。心拍を検出するために使用される手法には、心電図 (Electrocardiography, ECG) のほか血圧や光電式容積脈波 (Photoplethysmography, PPG) から得られた脈波信号解析などがある。ECG は、心電図の波形を提供し、洞房結節で発生していない心拍を除外することができるため、生体センサから ECG を記録し、ECG の QRS 波から次の QRS 波までの間隔である RR 間隔から心拍変動解析を用いる手法が一般的である。心電図の QRS 波は心室の興奮を示し、RR 間隔は心室興奮から次の心室興奮までの時間を示している。上記、2 で述べたテスト走行において、Yuda らは 8:30 - 17:00 までに行われた 3 回の隊列走行の先頭車両ドライバの生体信号データ (心電図 RR 間隔、身体加速度、表体温) を解析したところ、1 回目 (初回) 走行と 3 回目 (最終) 走行において、初回走行の時間帯は 2 回目、3 回目の走行時間帯と比較して優位に表体温が高い結果を示した ( $p < 0.001$ ) [2]。通常、ヒトの体温は夜から明け方にかけて下がり、4:00 - 6:00 頃を底にして上がり始め、夕刻 (16:00 - 18:00) にピークとなるリズムで常に変動している。このような生体リズムは時間変化や季節変動に対して、効率よく適応できるように体の状態を調節する役割を果たしている。そして、運動、気温、食事、睡眠、女性性周期や感情の変化などによっても変動することが知られている[11]。しかしながら、Yuda らの研究では、初回走行時が優位に高い結果となっており、これは先頭車両に乗車するドライバの緊張が考えられた。ヒトは心理ストレスを受

<sup>†</sup> 東北大学データ駆動科学・AI 教育研究センター  
Center for Data-driven Science and Artificial Intelligence  
Tohoku University

けると様々な生理反応が生じ、体温、脈拍、血圧の上昇は典型的なストレス反応であることが知られている。ストレス信号の神経伝達経路は、脳内のストレス信号を交感神経系へ伝えることで熱の産生や体温の上昇という生体反応を生み出す[12]。

#### 4. ドライバのストレスと定量的評価

主観評価は、評価基準など個人差が大きいため、普遍性をもたせるためには、先に述べた生体計測などの客観的な評価手法が必要である。心拍、脈派、表体温、身体加速度などの生理指標は計測が比較的容易であり、快不快といったドライバの感情状態[13]や眠気[14-16]を客観評価することにも優れている。生体信号は、生体を取り巻く環境の変化にตอบสนองするヒトの重要な情報であり、適切な生理指標を組み合わせることで生理反応からドライバの状態を判別していく技術は今後の課題である。自動運転技術はドライバの運転を支援し、運転の負担を軽減するだけでなく、操作や判断ミスによる事故を減らし、渋滞情報を察知することで最適なルートで移動を行い、高齢者など移動が困難な人間を支援することができる。車両の燃費向上は環境問題にも寄与する。

完全自動化社会においては、先頭車両にドライバが乗車しなくてもトラブルなく安全に走行することが目標であるが、現在は人が制御可能な技術において導入が現実的である。現在の自動運転レベルにおいては、人間による制御や監視は欠かせない。しかし、自動運転車両を牽引したり、自動運転車両の走行を監視するドライバの生理応答に関する研究は、データの蓄積がまだまだ十分であるとは言えず、ノイズに強い測定機器や解析手法を用いてデータを蓄積し、馴化[17]も考慮しながら解析していく必要がある。

#### 5. 結言

本稿では、自動運転トラックの隊列走行時における先頭車両ドライバの生理評価について検討を行なった。ストレスなどの心理状態を客観的に数値化し、ドライバに及ぼす作用についての検証技術を構築し、定量的な評価手法を確立することには意義がある。自動運転システムが高度化する中であっても、自動運転を牽引する先頭車両ドライバが注意を払って他の走行車両や人々に不可避な事故の回避に努められるよう、人間の認知や行動のしくみに基づいた安全運転サポートシステムの開発に資するデータ解析が望まれる。

#### 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(20K04270, 代表: 吉澤誠)および東北大学男女共同参画推進基金令和3年度TUMUG支援事業の助成を受けたものである。また、本研究の一部は豊田通商株式会社および日本工営株式会社の援助を受けた。ここに謝意を表する。

#### 参考文献

- [1] 国土交通省「トラック隊列走行の状況と課題」2019年8月  
[https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road\\_space/pdf02/02.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/road_space/pdf02/02.pdf)

- [2] Yuda E, Konishi K, Takahashi M. Evaluation of Physiological and Psychological Stress in Head driver leading Self-driving truck. International Society of Affective Science and Engineering (ISASE) 2021, Tokyo, Japan. USB paper C034, 2021.
- [3] 米国運輸省道路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)<https://www.nhtsa.gov>
- [4] 米国運輸省道路交通安全局, Advancing Automation for Safer Roads. <https://www.nhtsa.gov/automated-vehicles/vision-safety>
- [5] Japan launches test of self-driving truck convoys - Labor-saving tech would let one driver direct multiple vehicles. Nikkei Inc. January 24, 2018. <https://asia.nikkei.com/Editor-s-Picks/Japan-Update/Japan-launches-test-of-self-driving-truck-convoys>
- [6] Badue C et al. Cardoso, Avelino Forechi, Luan F. R. Jesus, Rodrigo Ferreira Berriel, Thiago M. Paixão, Filipe Wall Mutz, Lucas de Paula Veronese, Thiago Oliveira-Santos, Alberto F. De Souza: Self-driving cars: A survey. Expert Syst. Appl. 165: 113816, 2021.
- [7] Mai T et al. In-Network Intelligence Control: Toward a Self-Driving Networking Architecture. IEEE Netw. 35(2): 53-59, 2021.
- [8] Chowdhury A et al. Trustworthiness of Self-Driving Vehicles for Intelligent Transportation Systems in Industry Applications. IEEE Trans. Ind. Informatics 17(2): 961-970, 2021.
- [9] Generating A. Safety-Critical Scenarios for Self-Driving Vehicles. CoRR abs/2101.06549, 2021.
- [10] Hayano J. Introduction to heart rate variability. In: Iwase S, Hayano J, Orimo S, eds. Clinical assessment of the autonomic nervous system. Japan: Springer, 109-127, 2016.
- [11] Bhadra U, Thakkar N, Das P, Pal Bhadra M. Evolution of circadian rhythms: from bacteria to human. Sleep Med. 35:49-61. 2017. doi: 10.1016/j.sleep.2017.04.008.
- [12] Kataoka N, Hioki H, Kaneko T, Nakamura K. Psychological Stress Activates a Dorsomedial Hypothalamus-Medullary Raphe Circuit Driving Brown Adipose Tissue Thermogenesis and Hyperthermia. Cell Metabolism. 20(2), 346-358, 2014. doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.018
- [13] Hayano J, Tanabiki T, Iwata S, Abe K, Yuda E. Estimation of office worker's emotion types using two-dimensional model consisted of biometric signals. International Journal of Affective Engineering 2021, in press.
- [14] Yuda E, Yoshida Y, Hayano J. Changes in Respiration Pattern Preceding Drowsiness During Driving Ambulatory Respiration Monitoring by Smart Shirts Sensors, International Journal of Affective Engineering (IJAE) 19:2, 79-82, 2020. doi: 10.5057/ijae.IJAE-D-19-00008
- [15] Hayano J, Yamada A, Yoshida Y, Ueda N & Yuda E, Spectral Structure and Nonlinear Dynamics Properties of Long-Term Interstitial Fluid Glucose, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics (IJBBB) 3:137-143, 2020. doi: 10.17706/ijbbb.2020.10.3.137-14
- [16] Yuda E, Yoshida Y, Hayano J. Screening of Track Driver's Sleep Apnea by Objective Measure and Subjective Sense of Sleep Quality. International Journal of Affective Engineering (IJAE), J-STAGE 2019. doi: 10.5057/ijae.IJAE-D-19-00008
- [17] Sugaya Y, Cagniard B, Yamazaki M, Sakimura K, Kano M. The Endocannabinoid 2-Arachidonoylglycerol Negatively Regulates Habituation by Suppressing Excitatory Recurrent Network Activity and Reducing Long-Term Potentiation in the Dentate Gyrus. Neurosci. 33(8), 3588-3601, 2013. doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3141-12.2013