

## 心拍解析によるドライバーの状態推定に関する研究

### Experimental Study on Driver State Estimation by Heart Rate Analysis

○小西健斗, 高橋信, 湯田恵美

○Kento Konishi, Makoto Takahashi, Emi Yuda

東北大学

Tohoku University

キーワード : 心拍変動(heart rate variability), ワークロード推定(workload estimation),  
自動運転 (automated driving) トラック隊列走行 (truck platooning)

連絡先 : 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11 総合研究棟 904 号室 高橋・狩川研究室  
小西健斗, Tel: (022)795-7921, Fax: (022)795-7921, E-mail: konishi.kento.q8@dc.tohoku.ac.jp

#### 1. はじめに

今日、安全な交通社会の実現に向けて自動運転への期待が高まりつつある。自動運転レベルを定義した SAEJ3016<sup>1)</sup>において、レベル 1(運転支援機能)や、レベル 2(部分運転自動化)に該当する自動車が普及し始めており、今年世界初のレベル 3(条件付き運転自動化)搭載車も発売された。政府としても 2025 年を目途にレベル 4(高度運転自動化)相当の自動運転の実現を目指している。しかし、実際はあらゆる道路環境や気象条件等で自動運転車が安全な走行が行える技術水準には至っておらず、レベル 3、4 の自動運転は、あくまで・道路条件・地理条件・環境条件を満たした限られた運行設計領域(ODD)内のみで安全に機能することを担保したものにすぎない。そのため、レベル 3 の自動運転車では、自動走行中に ODD の範囲外となった場合には、権限移譲を行うことが義務づけられている<sup>2)</sup>。現段階では、人間が正しく状況認識に基づき操作を行うことで適切な権限移譲が実現可能と

想定されている。しかしながら人間の行動の信頼性が低下している場合には安全性を確保することは難しく、このような場合に権限移譲を行うと重大な事故に繋がる恐れがある。今後このような問題を避け、自動運転システムの安全性を向上させるためには、人間の状態に応じて動的に権限移譲を行う必要がある<sup>3)</sup>。この動的な権限移譲の実現のためには、機械が人間の状態を適切に把握する必要があり、そのための方策の一つとして、生体指標から人間のワークロード(作業負荷に伴う精神的負荷、メンタルワークロード)を推定する手法が検討されている。

本研究では、生体指標による人間状態推定を導入することにより自動運転システムの安全性の向上が可能であるかを検証すること最終的な目的とする。本報告では、ドライバーの状態推定の可能性を検討するために、トラック隊列走行時の先頭車ドライバーの心拍データの解析を行い、実車走行時の心拍計測によるワークロードの推定可能性を検討した結果を述べる。

表 1 導出した心拍変動性指標

名称	説明
LPS	ローレンツプロット上の楕円面積
SDNN	RRI の標準偏差
RMSSD	RRI の逐次差分二乗平均平方根
SDNN/RMSSD	SDNN を RMSSD で除した値
LF	低周波成分(0.04Hz~0.15Hz)の総パワー
HF	高周波成分(0.15Hz~0.40Hz)の総パワー
LF/HF	LF を HF で除した値
HR	1 分間あたりの心拍数

## 2. 心拍変動による状態推定

心拍変動とは、心臓が拍動した際に生じ、心臓の電気活動を測定した心電図に現れる鋭いピーク（R 波）の間隔（RRI）の変動である。心拍変動は自律神経機能と関連しており、一般的に交感神経活動が活発化することで心拍変動が小さくなり、副交感神経活動が活発化することで大きくなるとされる。ワークロードが高まると交感神経の活動が活発になることが報告されており、心拍変動を解析することによりワークロードを推定することができると考えられる。

本研究でワークロードを推定する際に導出した心拍変動性指標を表 1 に示す。SDNN/RMSSD<sup>4)</sup>、LF/HF は交感神経活動の指標であり、RMSSD、HF は副交感神経活動の指標とされている。LPS は自律神経活動の指標とされ、LPS が小さいほど交感神経活動が亢進状態であるとされる<sup>5)</sup>。なお、LF、HF を導出する際のスペクトル解析では、時系列 RRI を 3 次スプライン補完後、AR 法を用いてスペクトル解析を行なった。AR 法における次数は 12 次とした。

## 3. トラック隊列走行時のワークロード推定

本研究では、研究の第一段階として、実車走行時の心拍データからの状態推定の可能性を検討するために、トラック隊列走行の社会実装に向けた実証実験において実際に隊列走行時に取得されたドライバーの心拍データの解析を行った。

### 3.1 トラック隊列走行

隊列走行とは複数のトラックが隊列を組み、走行状況を通信によってリアルタイムで共有して車間距離を自動で保って走行する技術で、国土交通省・経済産業省が中心となり実証が進められている。2023 年以降に後続車無人での隊列走行を商業化することを目指しており<sup>6)</sup>、高速道路での後続車無人での実証実験も既に行われている。トラック運送業の現状として深刻な人手不足が問題に挙げられており、隊列走行の実現により、人手不足の解消や労働環境の改善だけでなく、省燃費効果、渋滞・追突事故件数削減が期待される。しかし、隊列走行は先頭車ドライバーが後続車の安全な走行の責任も負うため、通常のトラック 1 台での走行に比べワークロードが高まることが予想される。そこで、本研究では隊列走行時のワークロードを定量的に評価することを目的に、実証実験において測定された心拍データを解析し、ワークロードの推定を試みた。

### 3.2 実験概要

本実証実験は 2020 年 10 月 27 日(火)~29 日(木)に実施された。新東名高速道路、浜松いなさ JCT と遠州森町 PA 間を往復する計 60km の区間で後続車有人での隊列走行を行い、3 日間で計 3 名の先頭車ドライバーの心

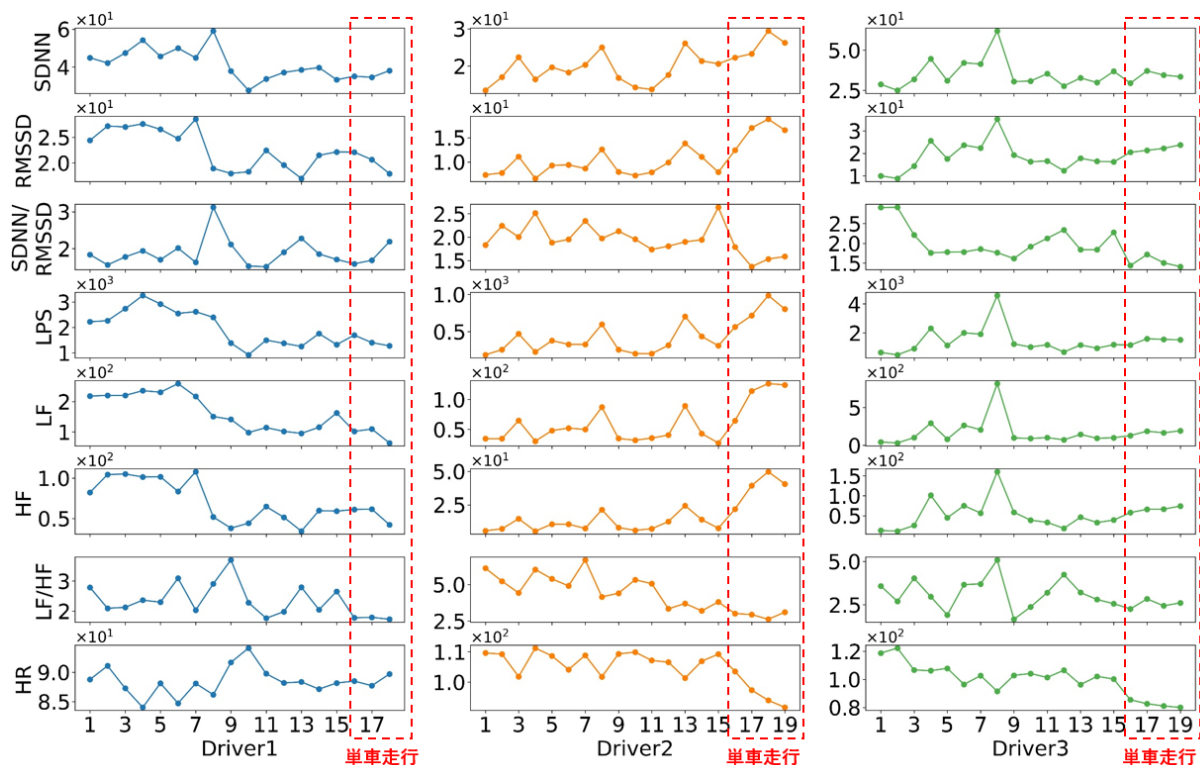


図 1 心拍変動性指標導出結果

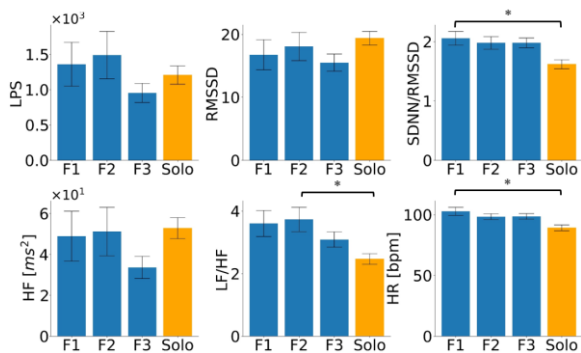


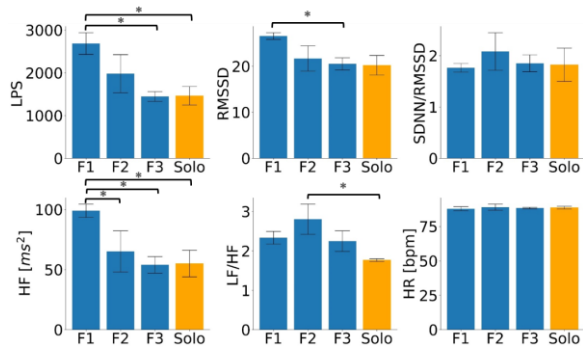
図 2 各走行における導出結果の3名の平均  
拍データの計測が行われた。当日は、上記の  
走行区間を隊列走行で3回走行した後、比較  
のため先頭車ドライバーが単車走行を1回行  
い、心拍データを計測した。心拍計測には、  
UNION TOOL 社製のウェアラブル心拍セン  
サ my Beat WHS-1<sup>TM</sup>を使用した。

### 3.2 結果および考察

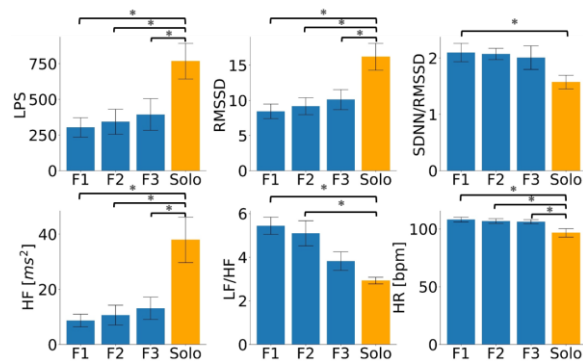
実験を通して計測されたデータについて、  
浜松いなさ JCT-遠州森町 PA を往復する区  
間を5つに分割し、休憩を除くそれぞれの区

間を走行中の心拍データを解析し、表1の心  
拍変動性指標を導出した。各ドライバーにつ  
いて導出した結果を図1に示す。図1の横軸  
は分割した走行区間を示しており、前半の15  
データが隊列走行3回分の結果(浜松いなさ  
JCT-遠州森町 PA 間往復×3)であり、残り  
が単車走行の結果である。図1より、2日目  
のドライバーは隊列走行時に比べて単車走行  
時に交感神経活動の指標が大きくなり、副交  
感神経活動の指標が小さくなる傾向が確認で  
きる。また、1日目のドライバーは交感神経  
活動の指標である LF/HF が、3日目のドラ  
イバーは、同じく交感神経活動の指標である  
SDNN/RMSSD が単車走行時に小さくなって  
いることが確認できる。

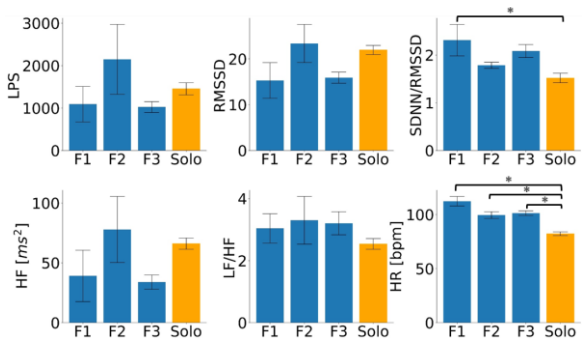
上記の結果より、3名のドライバーの3回  
の隊列走行と1回の単車走行における各指標  
の平均を算出した結果を図2に示す。これら  
の結果に対し1元配置分散分析を実施したと  
ころ、HR[bpm]と、交感神経活動の指標であ  
る SDNN/RMSSD と LF/HF において、5%の



(a) Driver 1



(b) Driver 2



(c) Driver 3

図 3 3名のドライバーの各走行時における導出結果

有意水準で有意差が認められた。これら指標について多重比較を行った結果、HR と SDNN/RMSDD については1回目の隊列走行と単車走行間、LF/HF については2回目の隊列走行と単車走行間に5%の有意水準で有意差が認められた。これより、隊列走行時は単車走行時に比べワークロードが高まる可能性が示唆された。

1~3日目のドライバーそれぞれに対し、同

様に心拍変動性指標の導出結果の各隊列走行と単車走行における平均を図3に示す。結果に対し1元配置分散分析を実施し、5%の有意水準で有意差が認められた指標に対し多重比較を行った。その結果、1日目のドライバーは図3(a)に示すように、LPS と HF について1回目の隊列走行と単車走行間、LF/HF について2回目の隊列走行と単車走行間に5%の有意水準で有意差が認められた。2日目のドライバーは図3(b)に示すように、LPS、RMSSD、HF、HR について各隊列走行と単車走行間、SDNN/RMSSD について1回目の隊列走行と単車走行間、LF/HF について1、2回目の隊列走行と単車走行間に5%の有意水準で有意差が認められた。3日目のドライバーは図3(c)に示すように、SDNN/RMSSD について1回目の隊列走行と単車走行間に、HR について各隊列走行と単車走行間に5%の有意水準で有意差が認められた。これより、すべてのドライバーについて、交感神経活動の指標が隊列走行と比較して単車走行時に有意に減少していることが確認できる。2日目のドライバーについては、交感神経活動の指標だけでなく、副交感神経活動の指標が隊列走行時と比較して単車走行時に有意に増大している。これらの結果から、すべてのドライバーについて単車走行と比較して隊列走行時にワークロードが高まる可能性が示唆された。

1日目のドライバーについては、LPS と HF が1回目の隊列走行時と比較して単車走行時に優位に減少しており、副交感神経の活動が低下していることを示す結果が得られた。しかし、これら指標は1回目の隊列走行時と比較して2、3回目の隊列走行時にも優位に減少していることから、単車走行により副交感神経の活動が抑制されたのではなく、1回目の隊列走行時に副交感神経の活動を亢進させる要因が存在したのではないかと考えられる。

## 4. まとめ

本研究では、トラック隊列走行実証実験において計測された、先頭車ドライバーの隊列走行時と単車走行時の心拍データを解析し、比較を行った。その結果、隊列走行時と比較して単車走行時に交感神経活動の指標である LF/HF、SDNN/RMSSD が優位に減少しているという結果が得られ、隊列走行時に先頭車ドライバーのワークロードが増大している可能性が示唆された。これにより、心拍などの生体指標を計測することでドライバー状態を推定できる可能性が確認された。

今後は、自動運転車を模擬したドライビングシミュレータを使用して実験を行い、心拍をはじめとした生体指標による状態推定を導入することにより、自動運転システムの安全性の向上が可能であるか検証を進めていく予定である。

## 5. 参考文献

- 1) SAE : Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, J3016-201401, 2014.
- 2) 国土交通省自動車局, 自動運転車の安全技術ガイドライン, 2018.
- 3) 稲垣敏之, 人と機械の共生のデザイナー「人間中心の自動化を探る」, 森北出版, 2012.
- 4) Hui-Min Wang and Sheng-Chieh Huang, SDNN/RMSSD as a Surrogate for LF/HF: A Revised, Investigation, Modelling and Simulation in Engineering, 2012.
- 5) 豊福史, 山口和彦, 萩原啓, 心電図 RR 間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発, 人間工学, Vol. 43, No.4, 2007.
- 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 2020, 2020.

- 7) ユニオンツール株式会社, <http://www.uniontool.co.jp/product/sensor/index.html>. (2021年6月アクセス)