

## 乗務員支援のための生理データを活用した心身状態推定

○中川 千鶴 渡部 貴浩 鈴木 綾子 (鉄道総研)

## Estimation of the Driver's Condition Using Physiological Data for Support

○Chizuru Nakagawa, Takahiro Watanabe, Ayako Suzuki (RTRI)

A train driver is a one-man crew. It is important that the driver, who is responsible for the lives of passengers, is in a calm state of mind and body (suitable for driving). The objective of this study is to grasp the driver's state by using the physiological data that can be continuously and relatively easily measured. We used a simplified railway driving simulator for performing the operation to conduct physiological measurements during the operation. This study examined changes in EEG and autonomic nervous system indices during the occurrence of psychological upset. The results showed that some characteristic changes in EEG appeared when psychological upset that affects performance.

キーワード：乗務員支援，人間工学，生理心理，脳波

Key Words：Crew Support, Ergonomics, Psychophysiology, Electroencephalogram

### 1. はじめに

鉄道の運転士が良好な心身状態で業務に従事することは、運行の安全と運転士の QOL の両面でとても重要である。運転作業は、業務内容に適した緊張のコントロールが集中力や覚醒レベルの維持につながる。一方、突然の災害や事故等で心理的動揺が生じて持続すると、行動阻害や誤判断を招く恐れがある。

本研究の最終目標は、運転士の心身状態をリアルタイムに定量化し、リスクの高い状態を検出した場合には運転士自身の自覚や速やかな回復を促す、もしくはサポート体制に移行する乗務員支援である。このため、生体情報等から心身状態を把握・推定する手法を検討している<sup>1)</sup>。ここでは、運転シミュレータにより模擬的に異常時を生じさせて心理的動揺を誘発し、その際の脳活動や心拍、呼吸の変化について報告する。

### 2. 実験方法

パソコン等で簡易鉄道運転シミュレータを構築し、鉄道総研の生体情報複合計測システム<sup>2)</sup>を用いて、鉄道運転作業中の様々な生理計測や行動量を計測した(図1)。主な生理計測項目は、128チャンネルの高密度脳波、CM5胸部誘導の心電図、腹部周囲変化による呼吸波形、精神性発汗として手掌の電位変化である。

実験参加者は一般成人男性10名(S01~S10)で、書面と口頭で実験内容について十分な説明を受け、時刻表に従い規定の制限速度で運転を行った。

実験は習熟課題7回(T1-T7)と本課題①:心理的動揺誘発課題5回(T8-T12)、本課題②:タイムプレッシャー課題6回(T13-T18)で構成され、課題は全て4駅間の運転で所要時間は約10分であった。実験参加者は、30秒毎との合図音時に自身の覚醒レベルを5段階(1:非常に眠い~3:普通ふつう~5:非常に覚醒)で回答した。

本課題①では、習熟課題と同じ線区とダイヤを走行中に、踏切内に自動車が侵入することで心理的動揺を誘発した。本課題②は、余裕時分が少ないダイヤで強い緊張を誘発する課題だが、本稿では本課題①の結果を用いるため詳細は省略する。なお、各課題間で3~5分、3課題毎に15分の休憩を設け、6回目の課題後に昼食休憩45分とした。

### 3. 実験結果

本稿では、S01~S03は計測条件が一部異なるため、S04~S10の7名について分析を行った。

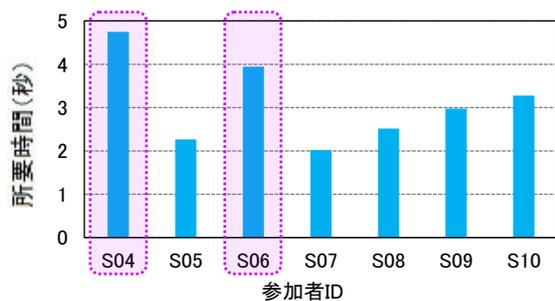


図1 実験の様子

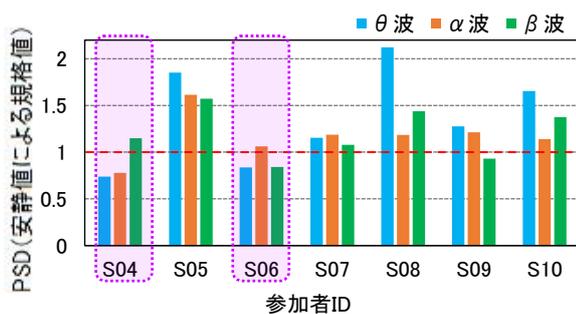
### 3.1 脳波分析

心理的動揺が最も強く誘発されるのは、本課題①の初回、「踏切への自動車進入」を最初に発見する場面である。このため、車両発見直後の5秒間の脳活動の変化を調べた。なお、参加者には事前に、緊急時は非常ブレーキをかけるよう教示しており、各参加者が侵入車両を発見してから非常ブレーキを操作するまでの時間を図2(a)に示す。

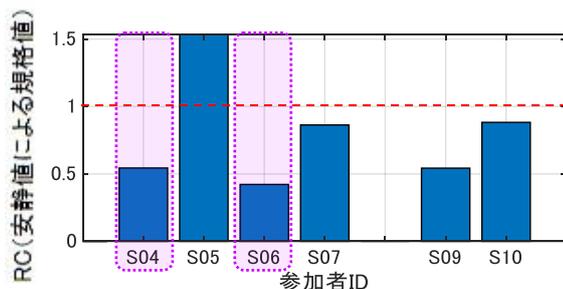
脳活動では、脳波の主な構成成分である $\alpha$ 波(8~13Hz)、 $\beta$ 波(14~30Hz)、 $\theta$ 波(3~7Hz)を対象とし、車両発見直後5秒間の各帯域成分の変化を調べた。図2(b)に、このときのスペクトル密度(PSD)を安静値(安静区間のPSD)で除した結果を示す。図から、非常ブレーキが最も遅れた2名(点線枠)に特徴的な減衰(1以下)が生じていることが分かる。非常ブレーキ操作が最も遅れたS04では $\theta$ 波と $\alpha$ 波が、2番目に操作遅延が大きかったS06では $\theta$ 波と $\beta$ 波が減衰した。S06の $\alpha$ 波は減衰しなかったがブレーキ操作時間が3秒以内であったS07~S09に比べて低い値であった。この結果は、我々の他の実験結果と一致し<sup>1)2)</sup>、パフォーマンスに影響を及ぼす心理的動揺の発生を、脳波の減衰により検出できる可能性を示すと考えられる。なお、



(a) 車両発見から非常ブレーキ操作までの時間



(b) 脳波の帯域ごとの成分変化(安静値基準)



(c) 自律神経指標RCの変化(安静値基準)

図2 アクシデント直後の反応時間及び各生理指標変化

$\alpha$ 波は一般に大脳神経活動が高まるにつれて減衰することが知られ<sup>3)</sup>、 $\beta$ 波、 $\theta$ 波の機序は不明点が多いが、 $\beta$ 波は精神活動、 $\theta$ 波は視覚刺激に対し減衰するとの報告がある<sup>4)</sup>。

### 3.2 心拍・呼吸の活用

運転パフォーマンスに影響を及ぼしかねない心理的動揺が生じた際に脳活動に特徴的な変化が生じる可能性を示したが、実際の運転席で脳波を簡便に計測することは難しい。このため、比較的容易に計測可能な心拍と呼吸により運転士の状態推定を行うことも併せて検討した。一例として、強い緊張時に抑制される副交感神経系活動を反映する呼吸性洞性不整脈の指標として提案しているRC<sup>5)</sup>の結果を図2(c)に示す。なお、S08はデータ欠損があり非表示とした。RCの算出方法<sup>5)</sup>の詳細は省略するが、呼吸周期ごとに心拍変動から算出する指標である。図2(c)は、侵入車両発見直後の5秒間のRC平均を安静時のRC値で除した規格値を示し、1未満は副交感神経系が抑制された状態と考えられる。図より、全員1未満だが、特にS04、S06、S09ではRCが小さく強い緊張状態を反映した可能性がある。

## 4. まとめ

鉄道運転シミュレータを用いて心理的動揺を誘発し、その直後の脳波と自律神経系指標の結果を示した。非常ブレーキ操作が最も遅れた2名では前頭前野の脳波の特定帯域の減衰がみられ、強い心理的動揺による変化が脳活動に出現し、パフォーマンスも低下したと考えられる。また、自律神経系指標でも当該の2名で強い緊張状態と解釈できる変化が確認された。検証データが7名(自律神経系指標では6名)と少ないが、他の10名前後の実験でも同様の結果を確認しており、心理的動揺が前頭前野の脳波の減衰として現れる可能性が高いと考えている。今後は、鉄道の運転席など実場面での測定に適用可能な心拍と呼吸の簡易計測による状態推定の研究を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) 中川千鶴, 秋保直弘, 他: 生理指標を活用した運転士状態推定の基礎的検討, 鉄道総研報告, Vol.33, No.1, pp.5-10, 2019.
- 2) 渡部貴浩, 中川千鶴, 鈴木綾子: 脳波の周波数変調による心理的動揺状態判別, ヒューマンインタフェースシンポジウム2019論文集, 5D1-1, 2019.
- 3) 開一夫, 金山範明(編): 脳波解析入門, 東京大学出版, 2016.
- 4) 加藤和夫, 志子田有光, 他: 視覚情報の際に伴う心的活動変化の自発脳波律動に基づく評価の試み, 人間工学, Vol.44, No.2, pp.67-75, 2008.
- 5) 中川千鶴, 渡部貴浩, 他: 生理指標を活用した運転時の心身状態の推定—呼吸周期を基準とするHRVにおける副交感神経活動推定の検討—, 人間工学 Supplement号, Vol.55, 1D1-2, 2019.