

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 生理指標を活用して運転士の状態を推定する

十分な訓練を積んだ運転士でも、突然のアクシデントに遭遇して気持ちが動揺し、慌ててしまったり、通常では考えられないミスをすることがあります。運転士は単独業務なので、そんなときこそ適切なサポートが必要です。そこで、脳波を含むさまざまな生理量・行動量を計測できるシステムを構築して実験を行った結果、心理的動揺の発生と回復が、脳波や瞳孔径などの生理変化に現れることがわかりました。ここでは、運転士がこのような状態に陥ったことを、生理指標など運転士の主観評価に頼らない手法で捉えることを目的とした研究について紹介します。

## はじめに

列車の運転業務では、運転士が常に心身ともに良好な状態を維持し、万一、突然の災害や事故などに遭遇して心理的動揺が生じた場合も、速やかに適切な判断や対応ができる心身状態に復帰することが大切です。

この研究の最終目的は、運転士の心身状態を生理量などでモニターし、アクシデント発生時などに運転士をバックアップすることです。このためには、心理的動揺を検出する方法に対する基礎研究と、運転席での測定という実用化研究の二つが必要です。ここでは、基礎研究の取り組みとして、構築した「生体情報複合計測システム」と、このシステムを用いた実験から得た、突発事象による心理的動揺時の特徴的な生理変化について紹介します。

## 生体情報複合計測システム

昨今、腕時計型や着衣タイプなど、さまざまな簡易生理計測グッズがありますが、必ずしも精度が高いとはいえません。その主な理由の一つは、生理変化は個人差が大きく、すべての人に当てはまる判定が難しいことです。しかし、過去の実験で、変化が現れる生理指標は人によって異なることをとらえました<sup>1)</sup>。このため、運転操作中のさまざまな情報を、最新技術を用いて取得できるよう、生体情報複合計測システムを構築しました(図1)。

### 高密度センサー脳波計測システム<sup>1)</sup>

脳活動計測の方法には、さまざまな方法(☞参照)がありますが、時間分解能が高く作業時の測定が可能なことから、高密度センサー脳波計測システム(NetStation GES400, EGI)を導入

### ☞ 脳活動の計測方法

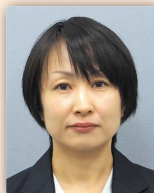
近年の脳活動の計測方法は、脳波以外にも、機能的磁気共鳴画像(fMRI)や、近赤外光脳計測(NIRS)などがあります。fMRIは脳の深部の変化を計測可能ですが、測定時に身動きが取れず、測定中にかなり大きな音が出るので、動作をとまなう実験などにはあまり向いていません。NIRSは赤外光を用いるので電氣的なノイズに影響されない点が大きなメリットで、さまざまな環境で測定できます。しかし、頭皮表面の皮膚血流変化も一緒に測定してしまうのがデメリットで、脳活動だけを取り出すためのさまざまな研究が続けられています。



**中川 千鶴**  
Chizuru Nakagawa  
人間科学研究部  
人間工学研究室  
室長  
[専門分野] 人間工学,  
生理計測



**秋保 直弘**  
Naohiro Akiu  
人間科学研究部  
人間工学研究室  
研究員  
[専門分野] 人間工学,  
生理心理学



**吉江 幸子**  
Sachiko Yoshie  
人間科学研究部  
生物工学研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 分子生物学,  
微生物学



**小島 崇**  
Takashi Kojima  
車両構造技術研究部  
走り装置研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 信号処理に  
よる異常検出、車両の  
運動



**鈴木 綾子**  
Ayako Suzuki  
人間科学研究部  
人間工学研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 人間工学,  
産業・組織心理学, 社  
会心理学

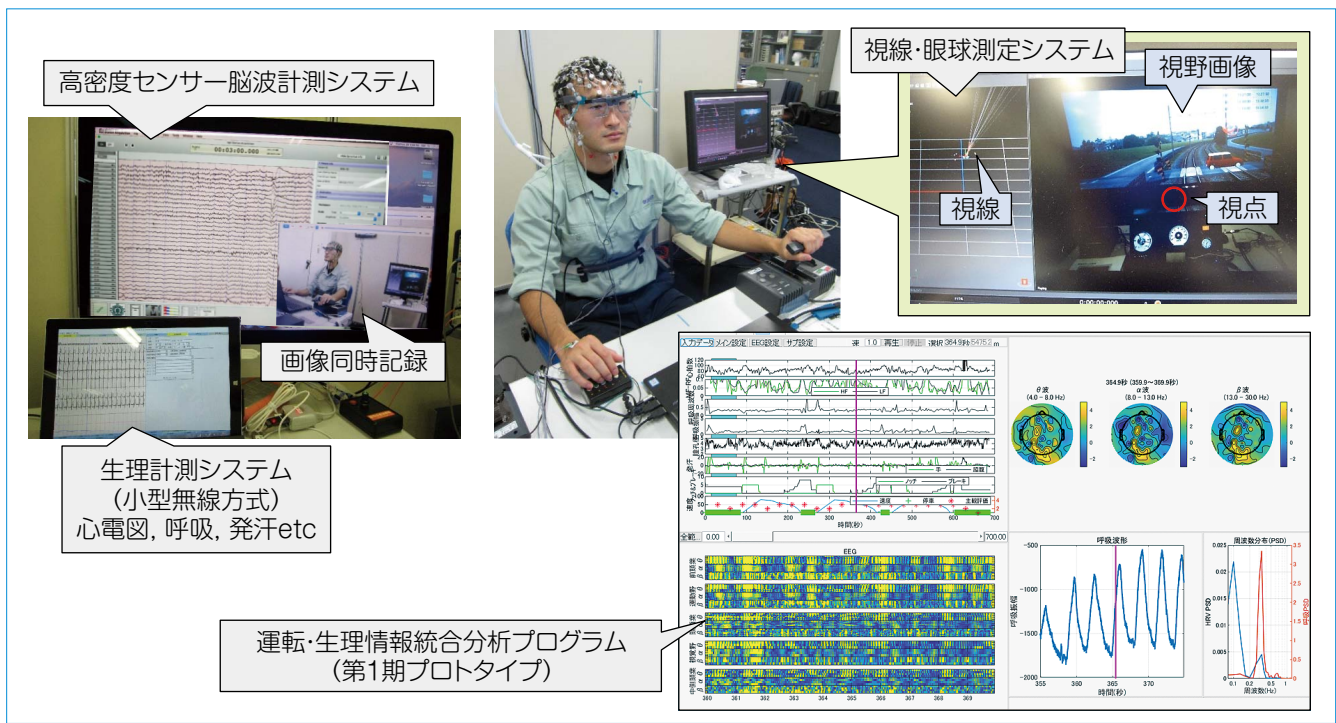


図1 生体情報複合計測システムの概要<sup>1)</sup>

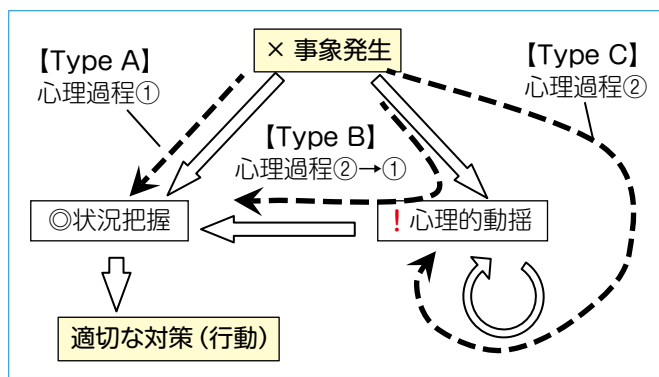


図2 事象発生後の心理過程の仮説<sup>2)</sup>

しました。この脳波計は、ネット状につながられた128個の電極が頭部全体を覆うため、ほぼ頭部表面全域の脳波が計測できます。また、従来の脳波計より装着が簡単です。

### その他の生理計測

脳活動以外の生理量として、心拍、呼吸、発汗などが生体信号収録装置 (PolymateV, ミユキ技研) で測定できます。無線計測が可能です。

視線計測と瞳孔径などの眼球運動測定ができるアイトラッカー (glass2, tobi) と、赤外線カメラで人や物の位置や動きを正確に測定できるモーションセンサー (Motive Tracker,

OptiTrack) を連動させたシステムを構築しました。これにより、頭が動いても視線を自動計測できます。

### 運転・生体情報統合分析プログラム

測定データを統合的に把握・分析するため、計測した運転ログ、脳波、自律神経系指標 (後述)、行動量を一元的に表示できる「運転・生体情報統合分析プログラム」を開発しました。これにより、全データを「見える化」でき、データ相互の関連性などを分析できます。

### 本システムの最大の特徴

高密度脳波計測は、おもにてんかん治療などの医療目的や脳の研究用で、本研究のように人の生理・行動・運転

情報の記録などの多様な測定系の1つに組み込まれる例はほとんどありません。また、測定システム全体も、実環境に近い状況でのマルチセンシングを実現した点も先駆的なものです。さらに、これらの多様なデータの統合解析を実現するソフトウェアの開発により、簡便で、より直感的データ解析が可能になりました。

### 心理的動揺時の心理・生理状態

#### 心理過程仮説

心理的動揺が生じると、「頭が真っ白になる」という表現があるように、一時的に現状認識や的確な判断が難しくなります。つまり、心理的動揺が生じている間はエラーや見逃しなどが生じやすい状態が続くことになります。ここでは、心理的動揺時の心理過程とそれに関連する生理指標を整理します。

心理的動揺を生じさせる事象 (アクシデントなど) が発生した後の心理過程は、事象が発生しても心理的動揺が生じない「心理過程① (Type A)」と、心理的動揺がある「心理過程② (Type C)」に大別します (図2)。ただし実際



図3 実験システムでの実験の様子

は、一時的に心理的動揺が生じても速やかに回復して適切な行動に移行する心理過程②→① (Type B) が多いと考えられます<sup>2)</sup>。

### 自律神経系指標の変化

上述の心理過程に対応した、自律神経系指標の変化をまとめます。自律神経系は交感神経系と副交感神経系から成り、一般的には、交感神経系は興奮した状態で活発になり、副交感神経系はリラックス・休息状態で充進するとされます。その一方、副交感神経系は、冷静に情報収集するような状態でも活発になると報告されています<sup>3)</sup>。心理的動揺が生じない場合は冷静に状況認識や判断に徹するため、相対的に副交感神経系の活動が活発になると考えられます。一方、心理的に動揺すると神経が興奮状態となり交感神経系が優位になると考えられます。実際には、図2のType A (心理過程①) では副交感神経系が、Type B (心理過程②→①) では交感神経系から副交感神経系が、Type C (心理過程②) では交感神経系が活発になると考えられます。

### 模擬運転作業の生理計測実験

鉄道運転中の突発的な事象による心理的動揺をとらえられる生理指標を見いだすための実験を行いました。

### 実験方法

実験システムは、大型モニターとハンドルコントローラーによる簡易鉄道

運転シミュレーターと生体情報複合計測システムで構築しました(図3)。

実験は、休憩をはさみながら、約30分の模擬走行課題(7駅間を走行)を7回行いました。実験参加者は一般の健常男性13名(参加者ID:S01~S13)で、実験中は時刻表に従って制限速度内で運転するよう教示し、非常時には非常ブレーキをかけて警笛を鳴らすよう伝えました。

最初に運転操作に慣れるための習熟課題を4回行った後に、線路内に支障物(倒木)があるアクシデント課題などを行いました。測定した生理量は、脳波、心拍、呼吸、瞳孔径と眼球運動、発汗活動などです。

### 実験結果

#### (1) 瞳孔径

アイトラッカーでの瞳孔径測定が可能であった眼鏡非使用者7名(参加者ID:S04, S06, S10~S13)について、アクシデント課題での瞳孔径の変化を調べました。ここでは、倒木発見直前の30秒間を「平常時」、倒木発見から非常停止するまでの時間(平均16秒間)を「異常時」と定義します。

平常時と異常時の瞳孔径を比較した結果、7名すべての瞳孔径が、倒木発見直後に拡大していました(図4)<sup>4)</sup>。

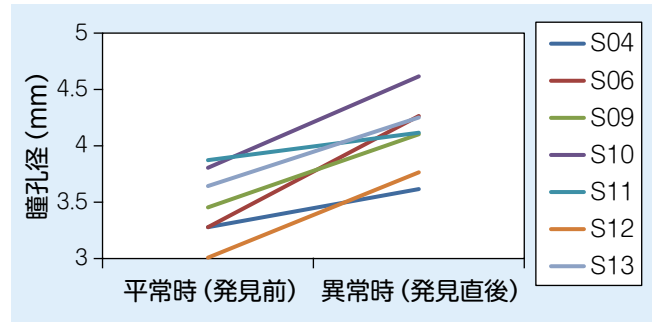


図4 支障物発見前後の瞳孔径<sup>4)</sup>

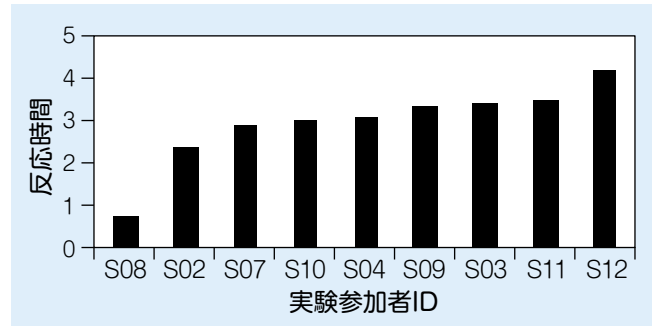


図5 支障物発見から非常ブレーキ操作までの時間<sup>1)</sup>

原因としては、異常事態発生による覚醒度の上昇により交感神経系が活発になり瞳孔が散大したと考えられます。しかし、非常ブレーキまでの反応時間が最長であったS12以外の6名は、倒木発見後10秒以内に平常時の瞳孔径平均の±5%の範囲に戻りました。これは一時的に心理的動揺が生じて交感神経系優位になったものの、速やかに冷静な状態(副交感神経系優位)に戻る、図2のTypeBの過程を示したと考えられます。

#### (2) 脳活動と自律神経系

心理的動揺の持続の目安として、倒木発見からブレーキ操作までの時間(以後、反応時間)を調べました。支障物に気づかず通過した例や測定不備などを除く9名(参加者ID:S02~04, S07~09, S11, S12)の反応時間を図5に示します。反応時間が短い順にデータを並べています。反応時間が最も短かったのはS08, 最も長かったのはS12の実験参加者です。そこで、S08とS12の支障物発見前後の脳活動と自律神経系指標、ブレーキ操作を調べました(図6)。

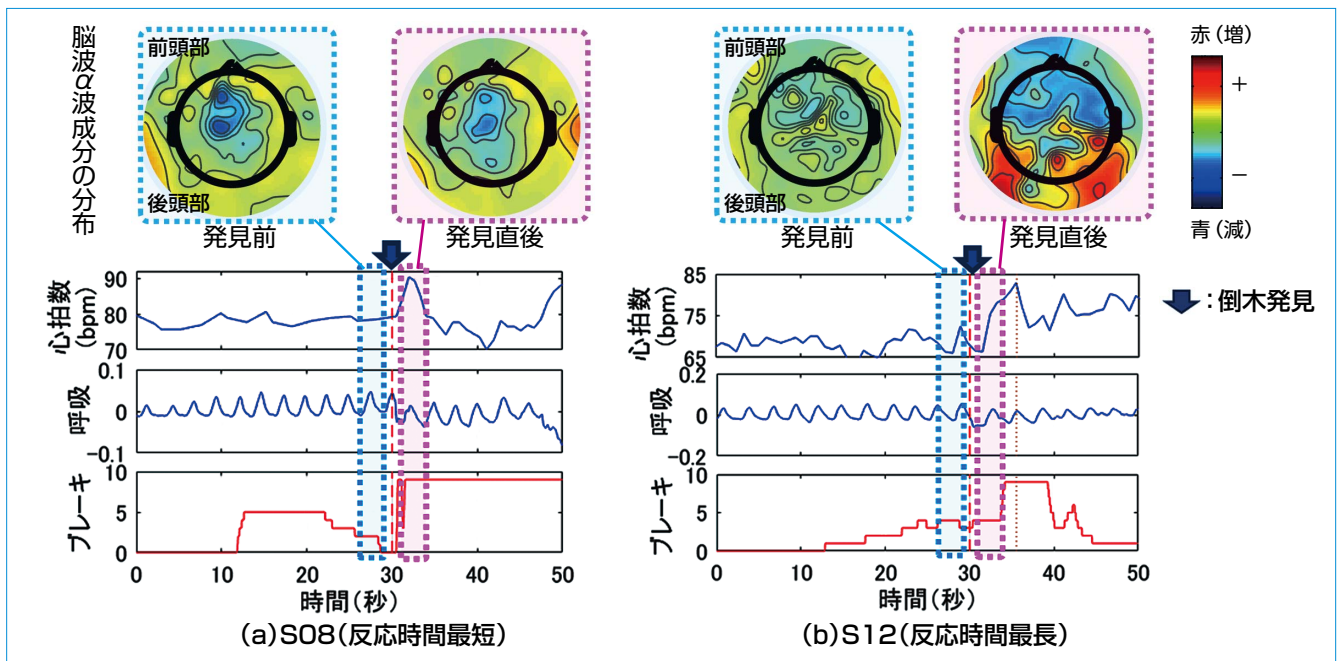


図6 アクシデント課題における各種生理指標の変化の例<sup>1)</sup>

脳波分析(☞参照)として、安静状態で増加し、暗算などの精神負荷などで減少する $\alpha$ 波成分の分布の変化を図6の上部に示します。個々の図は、倒木発見前後の3秒間の脳波 $\alpha$ 波の成分分布を示します。下のグラフは、上2段が代表的な自律神経系指標である心拍数と呼吸波形、3段目がブレーキ操作です。矢印は倒木発見時点を示しています。この結果から、反応時間が最も短いS08は、発見前後の $\alpha$ 波成分分布にほとんど変化がありませんが、反応時間が最も長いS12は、発見直後に前頭前野(頭頂より前の部分)が青く変化しており、 $\alpha$ 波が減衰したことがわかります。前頭前野は認知や状況判断などが行われる部位であり、状況を把握できず精神負荷が高まったことで、 $\alpha$ 波が減衰したと推測されます。別の実験でも、同様の結果が得られており、図2の心理モデルにおける

TypeC(心理的動揺状態の継続)と考えられます。

心拍数や呼吸の変化では、S08では、発見直後に心拍数が上昇し、交感神経系が一時的に活発になったものの、すぐに心拍の減少と呼吸間隔の伸長という副交感神経優位の反応を示しました。一方、S12は、発見直後から心拍数が増加した状態が持続し、かつ呼吸振幅が減少して呼吸が浅くなっています。これは緊張状態の反応で、瞳孔径の変化とも一致し、S08が示した心理過程は図2のTypeB、S12はTypeCと考えられます。

### おわりに

頭表面全域を測定可能な脳波測定装置を含む生体情報複合計測システムを構築しました。これを活用して、模擬運転作業時の脳活動を含む生理計測実験を実施しました。この結果、アクシ

デント発生時に適切な行動への反応遅延が生じた実験参加者に、特徴的な脳波変化が観察されました。

今後は、これらの知見をもとに検討を進め、生理量による生理心理状態推定法を構築し、将来的には運転士支援システムの実用化につなげたいと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 中川千鶴, 秋保直弘, 吉江幸子, 小島崇, 渡部真浩, 鈴木綾子: 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) 中川千鶴, 秋保直弘, 吉江幸子, 小島崇, 池畑政輝, 鈴木綾子, 牛場潤一: 鉄道運転作業時の心理的動揺における自律神経系指標変化の基礎的検討, 日本人間学会第57回大会論文集, Vol.52, pp.322-323, 2016
- 3) 大須賀美恵子: 生理学実験入門 第4回自律神経系指標の計測, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.7, No.4, pp.285-290, 2005
- 4) 秋保直弘, 中川千鶴, 吉江幸子, 小島崇, 池畑政輝, 鈴木綾子, 牛場潤一: 鉄道運転作業時の心理的動揺における瞳孔径変化の基礎的検討, ヒューマンインタフェースシンポジウム2016論文集, pp.359-362, 2016
- 5) 開一夫, 金山範明(編): 脳波解析入門, 東京大学出版会, 2016

### ☞ 脳波分析

脳の活動状態を把握する代表的な方法として、脳波の特定の帯域成分を調べる方法があります。古くから研究されているのは $\alpha$ 波(8~13Hz)です。 $\alpha$ 波は、思考の中断や待機した状態、安静状態で増加し、暗算などの精神的負担などで減少するといわれています<sup>5)</sup>。