

生理指標を活用した運転士の心身状態の推定

中川 千鶴* 渡部 貴浩* 秋保 直弘*
小島 崇** 吉江 幸子*** 鈴木 綾子*

Estimating the Physical and Mental State of Drivers Using Physiological Indicators

Chizuru NAKAGAWA Takahiro WATANABE Naohiro AKIU
Takashi KOJIMA Sachiko YOSHIE Ayako SUZUKI

Using physiological data from a basic experiment simulating railroad driving in general participants, we studied a method for detecting mental and physical states that may interfere with driving. As a result, characteristic changes in brain activity are observed in the group that experienced a psychological upset. In addition, we selected heart rate and respiration as physiological indices that can be easily measured during driving and proposed a method for selecting effective indices for estimating mental and physical states for each individual. We examine the relationship between brain activity associated with psychological agitation and a questionnaire score on resilience (ability to adapt well) and find a weak correlation between them.

キーワード：脳活動、状態推定、自律神経指標、レジリエンス、運転士、覚醒レベル

1. はじめに

本研究の最終的な目的は、運転士の心身状態をセンシングし、重大事故に至る可能性のある心身状態に陥らないよう運転士をサポートすることである。適切な行動や判断を阻害しうる心身状態としては、病気等による意識障害や心理的動揺などの過度の緊張、眠気などの覚醒レベル低下があるが、本稿では心理的動揺（過緊張）と覚醒レベル低下を対象とする。

鉄道総研では、多点脳波計を含む生体情報と行動等を計測するシステムを構築し、鉄道運転シミュレータを用いた被験者実験を実施してきた¹⁾。その結果、心理的動揺の発生時に生じる、前頭前野の脳活動や瞳孔径、心拍数や呼吸での特徴的な変化を捉えたが、その変化パターンは個人差が大きく、将来目標に足る検知精度を得るには、この個人差の問題の克服が課題であった。

そこで本研究は、心理的動揺の生理心理的特徴を多角的に捉えた上で、実用的な生理指標による緊張推定を目指した。まず、心理的動揺と生理変化や性格特性との関係について調べた²⁾。また、緊張状態変化の検出に適した実用的な生理指標および個人差問題の解決方法について検討した^{3) 4)}。なお、緊張状態を覚醒レベルと対応づけて考えると、過緊張は覚醒レベルの過度の上昇と位置付けられ、その対極は覚醒レベルの低下（非緊張～眠気）

となる。このため、過緊張と非緊張を検出対象とした。

2. 心理的動揺時の脳活動や心理的特徴の検討

筆者らの運転シミュレータによる検討において、線路支障物発見による心理的動揺から非常ブレーキ操作が遅れた参加者では、前頭前野の脳波の θ 波や α 波成分の減衰傾向がみられた。しかし、この実験はマスコン操作や前方映像による視覚情報などの脳への刺激が複雑で、脳活動と心理的動揺の関係検証が難しい面があった。

そこで、運転作業を抽象化した認知課題を用いて課題中に突発的な音刺激により心理的動揺を誘発する基礎実験を行い、実験での正答率等のパフォーマンス成績と生理指標や性格等に関する質問紙回答との関係を調べた²⁾。

2.1 実験内容

2.1.1 実験システムと実験参加者

実験の様子を図1に示す。実験装置は50インチのモニタ、操作用のキーボード及び課題制御用PCで構成した。生理データとして、128チャンネルの高密度脳波電極による脳波、心電図、呼吸波形と瞳孔径を測定した。

実験参加者は、一般男性16名（平均年齢27.8歳）で、実験開始前に実験内容について十分な説明を行い、参加の同意を得た。なお、本実験は一般社団法人人間生活工学研究センターの人間生活工学実験倫理審査の承認を受けて実施された（倫理承認番号H30-23-1e）。

2.1.2 実験課題

鉄道の運転士は、走行中は視覚によって進行方向の情

* 人間科学研究部 人間工学研究室

** 車両構造技術研究部 走り装置研究室

*** 人間科学研究部 生物工学研究室



図1 実験の様子

報を取り入れ、さらに信号や標識を検知し、必要に応じて視線を配分しつつ運転を行っている。本実験では、このような実際の運転場面を象徴化した中心視課題と周辺視課題の2つの課題（視覚課題）を同時に遂行した。各課題の内容は以下の通りである。

【中心視課題】黒い画面の中心に丸い白枠が常に表示される。その内側にランダムに白色の数字（1～3）が表示されるたびに、速やかに同じ数字のキーを押す。

【周辺視課題】画面の4隅のいずれか1ヶ所に青又は赤の●が提示されるたびに、同じ色のキーを押す。

実験参加者には、課題中は常に画面中心の白枠内に視線を留め、四隅の円は周辺視で捉えるよう教示した。なお、課題中、実験参加者にはイヤホンでピンクノイズ（40dB程度）を聞かせて周辺音をマスキングした。

実験は1試行3分間とし、練習として2試行行った後に、本課題として12試行（T1～T12）を行った。1試行終了ごとに、自己評価や集中度合い等に関する質問紙に回答した。心理的動揺を誘発するため、本課題のT7とT11のみ、開始120秒後に0.5秒間の75 dBのホワイトノイズ（以後、音刺激）を聞かせた。

2.1.3 性格特性調査

実験開始前に、性格に関する質問紙である「NEO-FFI」⁵⁾を実施した。この質問紙は、性格特性として5つの因子（開放性・誠実性・外向性・調和性・神経症傾向）に関する個人の特性を調査するものである。

加えて、追跡調査として実験実施の2年後に「ストレス耐性チェックリスト」⁶⁾と「S-H式レジリエンス検査」⁷⁾を行った。これは、2.2節で後述する実験結果から、音刺激の影響を受けやすい人とそうでない人がいることが判明したことから、その違いについて検証するためである。なお、「ストレス耐性チェックリスト」はストレスへの耐性を測るもので、4段階尺度の20設問とした。「S-H式レジリエンス検査」は、ストレスを受けた際にストレスから立ち直ろうとする力（レジリエンス）を検査するもので、5段階尺度の27設問のパート1と4つの選択肢による8設問のパート2で構成される。ソーシャルサポート（家族、友人、同僚などの周囲の人

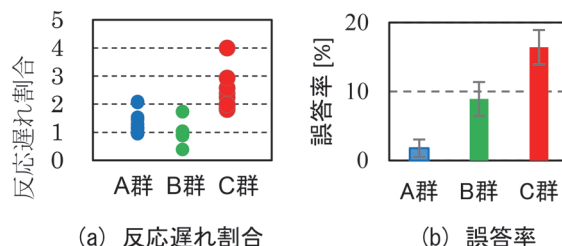


図2 群ごとのパフォーマンス結果

たちからの支援や協力などの度合いに対する本人の感じ方）、自己効力感（問題解決をどの程度できるかなどの度合いについての本人の感じ方）、社会性（他者とのつき合いにおける親和性や協調性の度合いなどについての本人の感じ方）の3つの因子で構成され、スコアが高いほどレジリエンスが高いことを示す。

2.2 実験結果

2.2.1 反応時間と正答率による群分け

音刺激が実験参加者のパフォーマンスに及ぼす影響を調べるために、音刺激直後の周辺視課題への反応時間と正答率を調べた。なお、個人差を考慮し、参加者ごとに、音刺激直後の課題反応時間をT1～T6の課題反応時間の平均値で除した「反応遅れ割合」として算出した。

音刺激直後の正答率を基に群分けを行った。2回の音刺激課題とも正解だった参加者をA群、どちらか一方が誤答をB群、2回とも誤答をC群とした。群ごとの反応遅れ割合をプロットした結果を図2(a)に示す。

また、音刺激影響の持続性を検証するため、音刺激後20秒間の誤答率を調べたところ、C群の誤答率が最も高かった（図2(b)）。この結果から、音刺激直後に課題へのパフォーマンスが低下した群は、音刺激後もパフォーマンス低下が持続することが示唆された。

2.2.2 パフォーマンス群における脳波変化の違い

音刺激を与えた直後の脳波変化の推移を見るため、 θ 、 α 、 β の3帯域ごとの0.5秒おきのパワースペクトル密度（PSD）変化を調べた。変化量は、音刺激後5秒間のPSDと音刺激前120秒間の平均値の差分をT1～T6のPSD平均値で除した値とした。この結果、A群とB群では音刺激直後に明確な変化はなかったが、C群では刺激後に前頭の β 帯域成分の減少傾向がみられた（図3）。前頭前野は、記憶や精神活動を司る領域であり、 β 波は脳の中で活発な精神活動をしている部位に優勢に現れ⁸⁾、集中緊張状態時に増加することが報告されている^{9) 10)}。このため、本実験の β 波強度の低下は、音刺激による課題への集中力の低下や注意散漫の状態を示し、これにより課題のパフォーマンスが悪化した可能性がある。

2.2.3 心拍、瞳孔径の解析結果

脳波の β 帯域成分の減少が顕著だった参加者では、

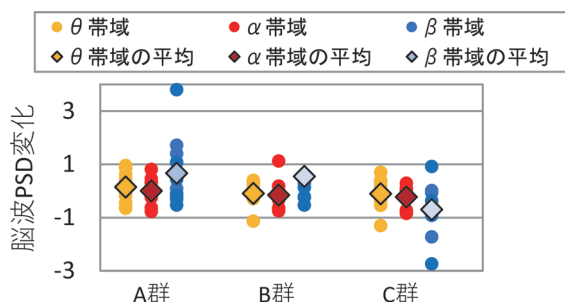


図3 音刺激後の各群の脳波周波数変化

心拍数が音刺激直後に一時的に上昇する傾向がみられたが、他の参加者では特徴的な変化はみられなかった。

瞳孔径は、音刺激後に全参加者で刺激前より大きくなった。また、心拍数が音刺激後に一時的に上昇した実験参加者は音刺激前の瞳孔径の大きさに戻するのに1分以上要したが、それ以外の実験参加者は、音刺激後概ね10秒前後で刺激前の瞳孔径の大きさに戻った。この結果はこれまでのシミュレータ実験の結果と一致する¹¹⁾。

2.2.4 個人特性に関する質問紙調査結果

性格に関するアンケート調査「NEO-FFI」の5つの因子において、群間及び脳波との相関はみられなかった。

ストレス耐性チェックリストは40以下でストレス耐性が弱く、50以上で耐性が強いとされるが、40以下の参加者はいなかった。また、群間での違いもなかった。

S-H式レジリエンス検査の各因子と音刺激後のβ強度の変化を比較した(図4)。この結果、自己効力感スコアと脳波のβ強度変化との間に弱い正の相関(相関係数0.50)がみられた。これは、自己効力感の低さとC群で顕著なβ強度低下との関連を示唆する可能性があるが、サンプル数が少ないため、この関連性については今後さらなる検証が必要である。

3. 実用性を考慮した生理指標による状態推定

将来的な運転席での活用では、ノイズに強く簡便に計測可能な生理指標が望まれる。このため、計測が比較的

容易な自律神経指標の活用について検討した^{3) 4)}。

3.1 運転士の状態推定に適した生理指標の選定

自律神経とは、生体の恒常性を保つために、無意識に「自律的に」活動する神経であり、交感神経系と副交感神経系の2系統から成る¹²⁾。交感神経が賦活すると、心拍数や血圧の上昇、呼吸数増加など身体の活動レベルや運動能力を高める方向に働くので、一般的に緊張やストレス状態を示すとされる。一方、副交感神経系は、心拍数や血圧・呼吸の活動を抑制し、消化器系の活動を活発にして心身の沈静化・エネルギーの消費抑制と蓄えの方向に働くので、一般にリラックス状態を示すとされる。しかし、何らかの事態に直面し外界の情報収集に集中している際に副交感神経系が賦活する定位反応もあり¹²⁾、厳密にはリラックス状態のみを示すわけではない。

自律神経系の賦活状態は緊張やストレスを反映するため、本研究の目的である心理的動揺(過緊張)の検出に有効である可能性が高い。自律神経活動の生理指標としては心拍、血圧、呼吸、精神性発汗、瞳孔系変化等があるが、安定性や測定簡便さなど実用性の点で、心拍と呼吸が適切と考えられる。このため、本章では心拍と呼吸から緊張状態を推定する方法を検討する。

3.2 心拍と呼吸から得られる生理指標

心拍から得られる代表的な生理指標は、心拍数(HR: Heart Rate)と自律神経指標LF、HFであろう^{13) 14)}。LFは交感・副交感神経系の両方の活動を、HFは副交感神経系の活動を反映するとされ、近年のウェアラブルデバイスのほとんどが活用している。

呼吸の測定方法はいくつかあるが、本研究では将来的な簡易測定の実現を考慮し、腹位周囲長の変化を呼吸波形として計測した。この呼吸波形から得られる生理指標は、①呼吸間隔と②呼吸振幅、③呼吸変動である。

LF、HFのうち、交感・副交感神経系の両方の影響を受けるLF(心拍変動の0.05~0.15Hz成分)より副交感神経系由来のHF(0.15~0.40Hz成分)の方が自律神経

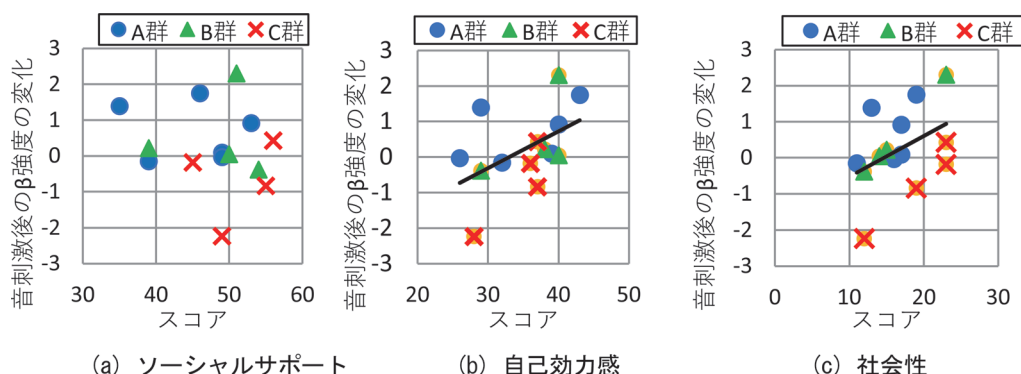


図4 脳波変化とS-H式レジリエンス検査での3要因スコアの比較

系活動をシンプルに把握しやすいため、ここでは HF を中心に考える。HF の帯域は広いが、これは、心拍変動に現れる呼吸周期の成分を捉えるためである。なぜなら、副交感神経活動を反映するのは、心拍変動に現れる呼吸に同調した成分「呼吸性洞性不整脈 (RSA: Respiratory Sinus Arrhythmia)」であり、HF は RSA が出現する可能性がある帯域を網羅するよう設定されているからである。しかし、呼吸周期は、発話や深呼吸、安静時と運動時などで日常的に大きく変動し、非常に遅い呼吸の場合は RSA が LF 帯域に出現することもある。このため、RSA を捉えるには本来呼吸を考慮すべきであるが、心拍のみの方が計測が簡便なので、呼吸を測定することなく心拍変動から算出する場合がほとんどである。そこで本研究では、拍動と呼吸を共に解析し、心拍変動における RSA 由来成分を、従来法 HF より正確に捉える方法を検討した。

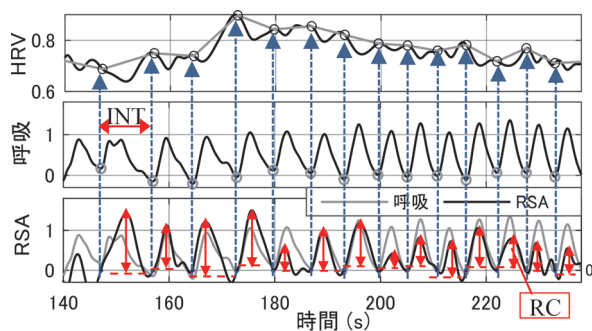
心拍変動と呼吸の対応を示す例として、測定データを図 5 に示す。上段が心拍変動 (HRV)、中段が呼吸波形、下段が、RSA (算出方法は後述) と呼吸波形である。上段の HRV の○印は、呼吸の吸気時点 (中段の呼吸波形の極小値) に対応し、HRV 波形と呼吸波形の位相が逆になっていることがわかる。

呼吸を活用した RSA 抽出は、小谷らが呼吸情報に着目した手法を提案している¹⁵⁾。詳細は紙面の制約上割愛するが、小谷らは、呼吸周期による心拍変動 (HRV) 解析による RSA 抽出の妥当性を示し、RSA 成分を「呼吸が極大値と極小値を示した際の HRV 値の差分」と定義した。しかし、腹部周囲長による呼吸測定は姿勢等の影響を受けやすく、緩慢な呼吸では極大値が不明瞭になるため、本研究では、呼吸の吸気開始時点と終点とした 1 呼吸区間の最大値と最小値の差分を RSA 成分 RC (後述) と定義した³⁾。

3.3 実験内容

3.3.1 実験システムと実験参加者

鉄道運転を模擬した簡易運転シミュレータを用いて、一般健康成人男性 10 名 (平均年齢 32.4 標準偏差 7.4) を実験参加者とした。実験は、実験参加者に事前に十分



HRV:心拍変動 INT:呼吸間隔 RC:RSA成分

図5 心拍変動・呼吸・RSAの関係

な実験説明を文書と口頭で行い、同意を得た上で、有償で実施した。

3.3.2 測定項目

生理指標としては、CM5 胸部誘発による心電図、胸部周囲長変化による呼吸波形、128 チャンネルの高密度脳波電極による脳波と瞳孔径を測定したが¹⁾、本稿では心電図と呼吸波形データのみを解析対象とする。

主観評価は、実験中に 30 秒ごとに合図音を鳴らし、その時点の自身の覚醒レベルについて、5 段階 (1: 眠気を感じる, 2: 少し眠気を感じる, 3: ふつう, 4: 少し緊張・動揺を感じる, 5: 緊張・動揺を感じる) で右手の押しボタンにより回答してもらった。

3.3.3 実験課題

参加者は、後述する習熟課題、線路内支障物課題、タイムプレッシャー課題の 3 種類の課題を実施した。いずれの課題も、4 駅間を運転する 10 分程度の試行を行った。上記の試行では、必ず始発駅と終着駅に 90 秒間停車した (休憩①, 休憩②)。実験参加者は時刻表に従い、規定の制限速度内で運転するよう教示された。習熟課題では、運転操作に慣れるために 7 回の試行 (午前: T1~T6, 午後 T7) を行った。その後、線路内支障物課題として 4 回の試行 (T8, T10~T12) を行った。ここでは、途中の踏切に自動車が進入する点以外は習熟課題と同じ試行内容とした。T8 は自動車進入の事前情報なし、T10~T12 は事前予告をして実施した。T8 と T10 の間に自動車進入のない試行 T9 を実施した。次に、タイムプレッシャー課題 (T13~最大 T18) を実施した。この試行では、余裕時分がほとんどない時刻表に沿って運転した。ここで定刻に最終駅に到着できた場合はその後の課題を免除し、クリアできない場合は試行を続けて最大 T18 まで行った。課題間の休憩は参加者の状況に応じて 3~5 分とし、3 課題ごとに 15 分の休憩をとった。また T6 と T7 の間は 45 分の昼食休憩をはさんだ。

タイムプレッシャー課題の試行数は参加者の課題達成度により異なり、最小 13 試行、最大 18 試行であった。全試行数は 151 試行であったが、測定機器間の Bluetooth の干渉等で 14 試行に測定不備があったため、以下の分析は 137 試行に対して行った。

3.3.4 心拍と呼吸に関するデータ解析

心拍と呼吸の主な生理指標と算出方法を以下に述べる。

- (1) 心拍間隔 RRI: 心電図ピーク (R 波) の時間間隔
- (2) 心拍変動 HRV: RRI を拍動中間点にプロット後スプライン補間し算出 (図 5 上段)
- (3) 副交感神経指標 HF: 30 秒間の HRV を FFT 処理し 0.15~0.40Hz 帯域の PSD を加算
- (4) 呼吸長 INT: 呼吸の吸気開始時点 Trsp (図 5 中段○印) の時間インターバル
- (5) 呼吸性洞性不整脈 RSA: HRV から Trsp 時点の

HRV 線形補間波形を減算し正負反転し算出

(6) 副交感神経指標 RC：1呼吸ごとのRSAの最大値と最小値の差分(図5下段矢印)

生理指標における個人差の影響を少なくするため、各指標はロバストZスコア(測定値と中央値の差分を四分位範囲IQRで除算)により標準化した。標準化に用いた中央値とIQRは、初回を除く習熟課題T2~T6から求めた。また、各生理指標値は呼吸周期ごとに算出した。

3.4 実験結果

3.4.1 RCの有効性検証

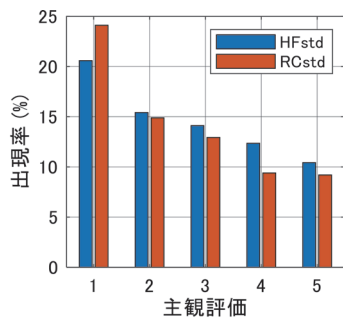
HFとRCの主観評価尺度との関係を調べた。なお、主観評価は30秒おきに回答した間欠的なデータのため、主観評価尺度1~5に対応する区間を回答時点±5秒の10秒区間として切り出して解析した。HFとRCが1/2以上(変化がIQRの1/2以上)の場合を「増加」と判定したときの、各主観評価尺度の区間中の増加判定出現率を図6に示す。HFとRCの増加が副交感神経の賦活を反映するならば、これらは主に覚醒レベルの低下により生じるはずである。

図6において、HF、RCいずれの増加判定も、主観評価尺度が低いほど(非緊張状態)出現率が高く、この傾向はRCの方が顕著であった。このことから、副交感神経指標としてのRCの有効性が確認された³⁾。

3.4.2 生理変化における個人差問題への対応

前述のように、日常生活の範囲における生理指標の変化は個人差が大きいため定量化や変化判定が難しい。しかし、運転に不適切な状態の検出や注意喚起の実現には、生理指標を定量化して確度が高い変化判定を実現する必要がある。このため、個人ごとに有効な生理指標を選定して緊張状態を推定する方法について検討した⁴⁾。

有効指標を選定するには、異なる緊張状態での指標変化を調べる必要がある。実際の運用場面で主観評価を得ることは困難なため、「覚醒レベルが低下しやすい場面(非緊張区間)」と「強い緊張を生じやすい場面(緊張区間)」を用いることとした。非緊張区間としては課題に慣れたT3~T7試番での休憩区間(始発駅と終着駅の



HFstd: 基準化 HF RCstd: 基準化 RC

図6 主観評価尺度区間でのHFとRCの増加判定率

90秒停車)を、緊張区間としては最初のT1~T2試番とタイムプレッシャー課題T13~T18試番での停車操作区間(駅停車直前の20秒)をそれぞれ選定した。また、有効指標の候補は、心拍と呼吸から得られる心拍間隔、呼吸長、RC、心拍規則性、呼吸規則性の5つとした。増加・減少判定閾値は±IQR/2とし、心拍規則性と呼吸規則性では4連続の指標値の全ての差分がIQR/2未満を「一定」、IQR/2以上を「変動」と判定した。各指標の変化と緊張・非緊張状態の対応を表1に示す。

この条件を基に、実験参加者ごとに有効指標を選定した(表2)。同表において、参加者ごとの有効指標として選定された生理指標を●で示しており、その色は緊張・非緊張のどちらの指標として選定されたかを示している。この結果から、参加者によって有効指標が異なることがわかる。特に、呼吸長は全被験者で、心拍変動とRCは10人中6人で有効指標として選定されており、心拍と呼吸を測定することが、状態推定に効果的と考えられる。また、全ての実験参加者で、緊張指標と非緊張指標としていずれかの生理指標が選定された。これは、緊張・非緊張の両方の判定が可能であることを意味する。

選定された有効指標を基に、参加者ごとの緊張・非緊張状態の推定可否を検証した。表2の参加者ごとの有効指標のいずれかで変化判定された場合を「変化あり」と見なし、これを「総合判定」とした。この結果を図7に示す。図の縦軸は緊張区間・非緊張区間における判定の出現率で、青いバーは非緊張判定、赤いバーは緊張判定である。10人の参加者の結果であり、緊張区間では緊張判定、非緊張区間では非緊張判定が多く出現しており、正判定は、10人中9人で50%以上の出現率となった。

表1 選定した5つの生理指標

No	生理指標	内容	非緊張	緊張
1	心拍間隔	拍動の時間間隔(s)	増加	減少
2	呼吸長	1回の呼吸の長さ(s)	増加	減少
3	RC	呼吸ごとのRSA成分	増加	減少
4	心拍規則性	心拍間隔の規則性	変動	一定
5	呼吸規則性	呼吸間隔の規則性	変動	一定

表2 参加者ごとの有効指標の選定結果

参加者ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
心拍間隔	●		●	●	●			●		
呼吸長	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
RC			●	●	●	●	●	●	●	●
心拍規則性				●			●		●	●
呼吸規則性			●		●	●		●	●	●

●: 非緊張判定に有効 ●: 緊張判定に有効

●: 緊張・非緊張判定に有効

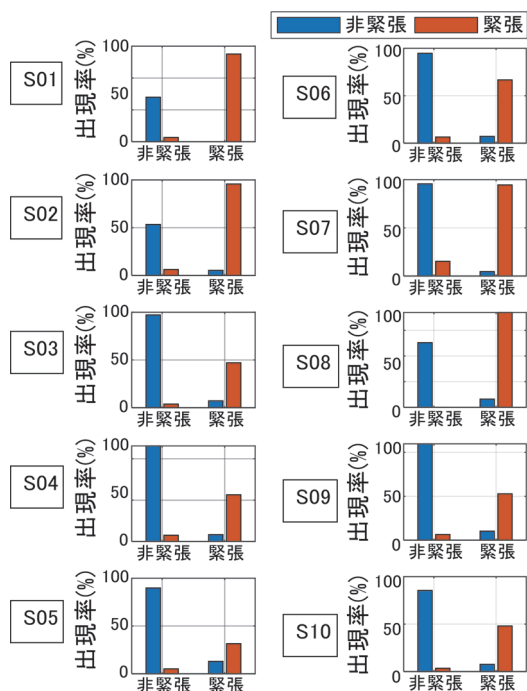


図7 参加者ごとの非緊張・緊張判定の出現率

一方、誤判定は全参加者で15%以下となった。この結果から、緊張状態の推定において、心拍と呼吸測定から得られる5つの指標の中から、個人ごとに有効指標を選定する提案手法は有効と言える。

4. まとめ

心理的動揺における生理心理的特徴を捉えるため、脳活動変化を始めとする生理変化と個人特性との関係について調べた。この結果、心理的動揺によりパフォーマンスが低下した群で、前頭前野に特徴的な変化が多くみられ、この脳波変化が顕著な参加者では、心拍の上昇や瞳孔拡大の持続がみられた。一方、複数の性格に関する質問紙回答とパフォーマンスや脳波変化との対応を調べた結果、レジリエンス（うまく適応する能力）に関するスコアに上述の特徴的脳波変化と弱い正相関がみられた。これは、状況変化への対応能力が低いと心理的動揺が生じやすいことを示唆していると思われるが、実験参加者数が少ないため、今後さらに検証する必要がある。

次に、実用性を重視した生理指標選定および個人差による推定精度の低下問題を解決するため、簡便な測定が可能な心拍と呼吸を対象とした5つの指標から、個人ごとに緊張推定に適した有効指標を選定する方法を提案した。さらに、有効指標を組み合わせることで非緊張状態と緊張状態を推定したところ、10名すべての実験参加者において、誤り率15%以下（9名で11%以下）で両緊張状態を検出することができた。

今後は、ウェアラブルデバイスを活用した生理指標の

簡易計測技術と本研究成果を組み合わせ、運転士をサポートするシステムを提案していきたい。

文献

- 1) 中川千鶴, 秋保直弘, 吉江幸子, 小島崇, 渡部貴浩, 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) 渡部貴浩, 中川千鶴, 鈴木綾子: 心理的動揺課題時における脳波の周波数変調と個人特性の比較, 人間工学, Vol.57, Supplement号, 1G1-02, 2021
- 3) 中川千鶴, 渡部貴浩, 鈴木綾子, 他: 簡便な呼吸性洞性不整脈成分推定を活用したドライバの心身状態推定の検討, 人間工学, Vol.56, Supplement号, 2G1-02, 2020
- 4) 中川千鶴, 渡部貴浩, 鈴木綾子, 星野慧: フィールド適用に向けた心拍と呼吸計測による心身状態の推定, 人間工学, Vol.57, Supplement号, 2G2-02, 2021
- 5) 下仲順子, 中里克治, 権藤恭之, 高山緑: 日本版NEO-PI-R, NEO-FFI 使用マニュアル, 東京心理, 1999
- 6) 折津政江, 横山英世, 他: ストレス耐性度チェックリストの検討, 心身医学, Vol.39, No.8, pp.595-602, 1999
- 7) 佐藤琢志, 祐宗省三: レジリエンス尺度の標準化の試み—『S-H式レジリエンス検査(パート1)』の作成および信頼性・妥当性の検討(看護に活用するレジリエンスの概念と研究), 看護研究, Vol.42, No.1, pp.45-52, 2009
- 8) 山口有美, 山口晴久: 脳波の周波数解析による学習課題解決プロセスの比較, 岡山大学教育実践総合センター紀要, 第1号, pp.59-67, 2001
- 9) 日沖求, 野澤昭雄, 水野統太, 井出英人: 時間的圧迫状況下におけるメンタルワークロードの生理心理評価, 電気学会論文誌C, 127巻7号, pp.1000-1006, 2007
- 10) 水野由子, 田中康仁, 林拓世, 岡本永佳, 西村治彦, 稲田絃: 精神作業負荷時における作業環境と関連した脳波・脈派の定量解析, 生体医工学, 48巻1号, pp.11-24, 2010
- 11) 秋保直弘, 中川千鶴, 吉江幸子, 他: 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
- 12) 大須賀美恵子: 生理実験入門(全4回)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
- 13) Saykrs, B. McA., "Analysis of Heart Rate Variability," Ergonomics, Vol.16, Issue 1, pp.17-32, 1973.
- 14) 早野順一郎, 山田真己, 藤浪隆夫, 横山清子他: 心拍変動と自律神経機能, 生物物理, Vol.28, No.4, pp.32-36, 1988
- 15) 小谷潔, 古川健太, 高増潔: 呼吸情報に着目した高精度な呼吸性洞性不整脈の抽出法, 生体医工学, Vol.41, No.3, pp.197-204, 2003