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

○中川 千鶴、渡部 貴浩、鈴木 綾子、小島 崇、北村 康宏、菊地 史倫、吉江 幸子、
池畑 政輝（鉄道総研）

Study of simple method for estimating driver's physical and mental conditions utilizing respiratory
sinus arrhythmia component based on respiratory cycles

Chizuru NAKAGAWA, Takahiro WATANABE, Ayako SUZUKI, Takashi KOJIMA,
Yasuhiro KITAMURA, Fumitoshi KIKUCHI, Sachiko YOSHIE, Masateru IKEHATA
(Railway Technical Research Institute)

1. はじめに

ドライバ（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運転士支援である。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¹⁾。ここでは、昨年¹⁾に続き、呼吸と心拍データを活用し、鉄道運転シミュレータでの鉄道運転作業中の心身状態を推定する手法の検討について報告する。

2. 呼吸周期基準のHRV副交感神経系活動

心拍変動（HRV）における呼吸性洞性不整脈（RSA）は副交感神経系活動を反映するとされ²⁾、自律神経系指標のHF³⁾はRSAを反映するものである。しかしHFは、①時間分解能が低い³⁾、②一過性の深呼吸に影響されるなど、指標として難点がある。小谷ら⁴⁾は上記問題の解決として、1呼吸ごとのHRV振幅をRSA振幅とみなす妥当性を示し、呼吸周期を基準としたRSA抽出を提案した。しかし小谷らの研究はRSA抽出に特化し、心拍や呼吸の他の指標は活用していない。本研究ではRSA抽出に加え、呼吸と心拍計測から得られる他の指標も加えた複合指標を構築することで、RSAだけでなくドライバの心身状態（緊張レベル）の推定判定を目指した。また、個人差に対応するため個人に特化した生理反応パターン活用を検討した。

3. 方法

実験方法は文献¹⁾と同じため詳細は略すが、簡易鉄道運転シミュレータを用いて、鉄道運転作業中の高密度脳波、CM5胸部誘導の心電図、腹部周囲変化による呼吸波形を測定した。実験参加者（成人男性10名：S01～S10）は、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。休憩は課題間で3～5分、3課題毎に15分とし、6回目の課題後に昼食休憩45分とした。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。

生理指標による緊張レベルの判定（以後、「判定」）を行った。判定は1呼吸毎に行った。なお各指標の変化基準は、心拍数は午前と午後、他は午前の課題データを用いて決定した（基準値：中央値、変化閾値：標準偏差（SD））。

日常範囲での生理反応は個人差が大きいため、今回は1例（実験参加者S04）について報告する。S04において緊張レベルとの関連と再現性が期待される生理変化パターンを目視により抽出して判定ルールとして定義し、S04の全試番に対しルールに基づき自動判定を行った。

用いた生理指標と判定ルールを以下に示す。

＜生理指標＞

- (1) 心拍関連指標：心拍変動（HRV）、瞬時心拍数（HR）、1呼吸区間のHRV振幅（RSA）
- (2) 呼吸関連指標：1回の呼吸の呼吸時間（INT）、呼吸振幅（PP）

図 1 心的動揺誘発実験の結果（実験参加者S04）

＜判定ルール＞

検出対象と判定ルール→推定される緊張状態を示す（括弧内は緊張レベルの判定値）。

(1) 大呼吸

- ① $PP \geq \text{基準値} \times 2$ → 切替り
- ② $INT \geq \text{基準値} + SD \times 2$ (大呼吸) → 切替り

(2) HRの急激な変化&RSA変化

- ① $RSA \geq \text{基準値} \times 4$ → 高い緊張 (+4)
- ② ① & 次 $RSA \leq \text{基準値} - SD$ → 極度の緊張 (+7)

(3) 規則的呼吸&心拍数変化

- 4回連続INTの差 < 基準値10% &
- ① HR増加 → 適度な緊張 (+2)
- ② HR一定 & $HR \geq \text{基準値}$ → 適度な緊張 (+2)
- ③ HR一定 & $HR < \text{基準値}$ → 緊張低下 (-3)
- ④ HR減少 → 弱い緊張 (-2)
- ⑤ $INT \geq \text{基準値}$ & $HR < \text{基準値}$ → 緊張低下 (-3)

(4) RSA大 & 心拍数低下

- $RSA > \text{基準値} \pm SD$ & $HR \geq \text{基準値}$ → 緊張低下 (-1)

3. 結果・考察

実験参加者S04の心理的動揺誘発課題T8の結果を図1に示す。上からHR、PP、INT、RSA、運転操作、速度と主観評価、最下段が判定結果である。縦の赤一点鎖線は侵入車発見時点を示す。

判定結果の棒グラフは緊張度を示し、プラス（赤）が高い緊張、マイナス（青）が緊張低下（覚醒レベル低下）を、△▽は緊張レベルの切替りと判定されたことを示す。

一方、運転状況に対する代表的な心身状態を以下①～③とし、判定結果と比較する。

①駅停車中（図中A）：緊張低下

②停車操作（図中B）：平常範囲の緊張

③侵入車発見（図中C）：極度の緊張/心理的動揺

図から、緊張度のプラス判定（赤）はB、C区間に集中しA区間ではほとんど生じていない。また、別課題T2-T12のA、B区間の判定結果でも、(+3)判定は全B区間で出現、A区間ではほぼ未出となり、判定結果と代表的な心身状態は良く一致した。

4. まとめ

本結果は1名のみで判定ルールも目視による特徴抽出に基づくものである。しかし、対象者ごとの適切な判定ルールにより緊張状態を推定できる可能性は示せたと考える。今後は他の参加者での妥当性検証と判定ルール決定の自動化を目指す。

参考文献

- 1) 中川千鶴他：“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—”，人間工学会第60回大会講演集，pp. 1D1-2，2019.
- 2) 早野順一郎：“呼吸性洞性不整脈はなぜ心臓迷走神経活動と関連するのか？”，循環制御，Vol. 24，No. 3，pp. 195-201，2003.
- 3) 中川千鶴：“生体電気現象その他の計測と解析（5）—自律神経系指標の計測と解析—”，人間工学，Vol. 52，No. 1，pp. 6-12，2016.
- 4) 小谷潔他：“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.