

心拍変動 RMSSD に基づくストレス推定と作業効率の 関係性に関する基礎的検討

日大生産工（院） ○矢藤 勇氣 日大生産工 柳澤 一機

1. 緒言

現代では、コンピュータをはじめとする情報機器を用いた作業は、業務遂行において不可欠な要素となっている。作業には所定の時間内に定められた業務量を遂行することが求められるため、高い作業パフォーマンスの発揮が必要とされる。したがって、作業者が効率的かつ継続的に業務を遂行できる状態を維持することが望ましい。

横須賀らは、心拍変動バイオフィードバック（Biofeedback：以下、BFB）によってストレスを管理することで、作業パフォーマンスが向上することを示したり¹⁾。BFBとは、通常は知覚できない生理活動を工学的手段で検出し、その情報を知覚可能な形で提示することにより、訓練を通じて生理活動の随意制御を可能にする技法である。

生理指標には個人差が大きく、とりわけ日常的な条件下では反応パターンに顕著な個人差が認められる²⁾。一例として、緊張状態のときに心拍が上昇する者もいれば、心拍はほぼ不変で呼吸律動が規則化する者も存在する^{2,3)}。そのため、同一の閾値を用いてストレスレベルを評価すると、一定数の者に対して適切に適用できないことが指摘されている²⁾。

このことから、本研究の目的は以下の2点である。第一に、ストレスレベル評価における閾値の個人適用を要する実験参加者の割合を調査する。第二に、個人に応じて最も高いパフォーマンスを発揮するストレス状態である「適切なストレス範囲」を設定した場合のBFBの効果を検証することである。

2. 研究の位置づけ

ストレス状態とパフォーマンスの関係性は、ヤーキーズ・ドットソンの法則に従うとされている。この法則は、ストレス状態とパフォーマンスが逆U字型の関係を示し、適切なストレス状態において最も高いパフォーマンスが発揮されることを示したものである¹⁾。

ストレス状態を推定するにあたり、非侵襲的に生体計測が可能であることから、心拍変動に着目する¹⁾。ストレスを評価する方法として、心拍情報から得られる自律神経指標である心拍変動（R-R Interval:以降 RRI）に注目する。

RRIとは、心電図上のR波から次のR波までの時間間隔を指し、自律神経活動の評価に用いられる。一般的に、高ストレス状態では交感神経活動が優位となり、低ストレス（安静）状態では副交感神経活動が優位になる。

VDT作業時におけるストレスレベルの推定する方法として、心拍変動から算出される Root Mean Square of Successive Differences（以降：RMSSD）に注目する方法がある⁴⁾。

RMSSDとは、隣り合う RRI の差の2乗平均平方根によって算出される指標であり、副交感神経活動の指標である。RMSSD は高ストレス状態では小さくなり、低ストレス状態では大きくなる。

榎本は、RMSSDを用いて「適切なストレス範囲」を定義した。健康な成人16名を対象に心拍変動を調査した結果、RMSSDの平均値は34.3 ms、標準偏差は11.9 msであった。Davidらの健康な成人21,438人を対象にした調査においても、同様の傾向を報告しているため、適切なストレス範囲を平均RMSSD±標準偏差とし、22.4ms～46.2msと定義した^{4,5)}。

しかし、RMSSDは個人差により、同一閾値に基づくストレス評価は、対象者の一部に対して妥当性を欠く可能性がある。

3. 適切なストレス範囲の検討

健康な20代の男性5名を対象に、個人の心拍データを蓄積し、各個人に応じた「適切なストレス範囲」を算出した。先行研究で報告された統計データに基づく「適切なストレス範囲」との分布を比較した⁴⁾。

3.1. 実験手順

1回1時間の心拍計測を5日間行い、合計5時間分のRMSSDの平均値、標準偏差を求め、平

A Preliminary Study on the Relationship Between HRV RMSSD-Based Stress Estimation and Task Performance Efficiency

Yuki YATOH, Kazuki YANAGISAWA

均値±標準偏差を「適切なストレス範囲」と定義した⁴⁾。

心拍計測中は、論文調査や3DモデリングなどのVDT作業を行うよう教示した。心拍計測にはPolar H10を使用した。実験は心拍変動の日内変動を避けるため、10時から14時の間に実施した。

3.2. 解析結果

図1に、実験参加者のRMSSDより推定されるストレス状態の分布を示す。点線は、先行研究の統計データに基づく適切なストレス範囲を表す。実験参加者C, D, Eは統計データとほぼ同様の範囲を示したが、A, Bは異なる傾向を示した。5名中2名が統計データに基づく適切なストレス範囲を適用できず、個人に応じた適切なストレス範囲の必要性が確認された。

4. 個人に応じた適切なストレス範囲の設定の効果検証

第3章の実験と同一の5名を対象に実験を行った。個人に応じた適切なストレス範囲の設定の有効性を評価するため、実験参加者には、統計に基づく適切なストレス範囲を設定する条件（以後、BFB条件1と記す）と、個人に応じて適切なストレス範囲を設定する条件（BFB条件2）の2つの条件でBFBを行い、パフォーマンスの変化を調査した。

第3章で行った実験より、統計に基づく適切なストレス範囲と同じ分布を見せた実験参加者C, D, Eを「統計データと一致した群」とし、そうでない実験参加者A, Bを「統計データと一致しない群」と分類し、両群のパフォーマンスを比較した。

統計データと一致した群では、BFB条件1および条件2のいずれにおいてもパフォーマンスの向上が期待される。一方、統計データと一致しない群では、個人に応じて適切なストレス範囲を設定するBFB条件2において、条件1よりも高いパフォーマンスが得られると仮定した。

4.1. 実験手順

パフォーマンスの変化を日常生活における計画・判断・意思決定などを行う際に重要とされる実行機能の変化と捉え、ストループ・逆ストループ課題の平均反応時間から、実験参加者のパフォーマンスを評価した⁴⁾。

まず、4分間の座位安静期間の後、ストループ・逆ストループ課題を8分半行い、続いて30分間の計算課題をBFBを行いながら実施した。その後、再度安静期間を設け、ストループ・逆ストループ課題を行った。

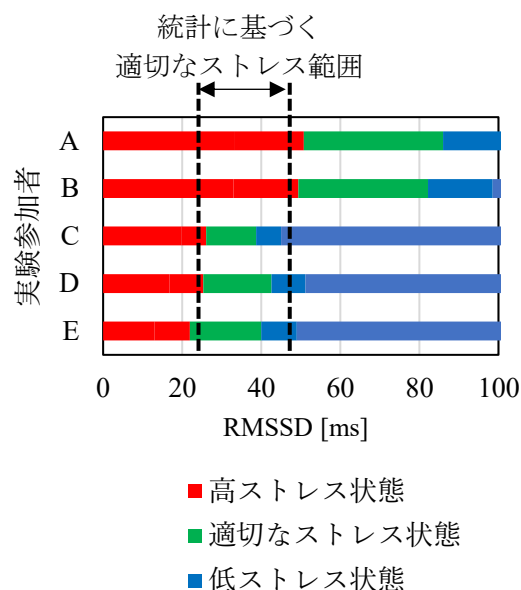


Fig1. 実験参加者のRMSSDより推定されるストレス状態の分布

ストループ課題とは、色名を表す文字とその文字の色が異なる状態に表示された際に、文字の色を回答する課題であり、逆ストループ課題は文字の意味を回答する課題である。16問を1セクションとして4回行い合計64問出題した。問題提示時間1.5秒、回答時間2秒、最初と最後とセクション間で56秒の待機時間を設けられている。

計算課題はBFB中の作業を統一するため、2桁の和と差の混合問題を行った。PCにエクセルを表示し問題を提示し、回答はキーボードで入力した。

指定された適切なストレス状態を維持するため、BFBにはパートナーロボットFlaboを使用した⁶⁾。FlaboとはリアルタイムBFBロボットであり、取り付けられたLEDにより、低ストレス状態では青色、適切なストレス状態では緑色、高ストレス状態では赤色でストレス状態をフィードバックできる。計算課題中は高ストレスになったら深呼吸を行い、低ストレス状態になれば解答スピードを上げるように教示した。

実験は2つのBFB条件について、順序効果を考慮してランダムな順番で行った。

4.2. 解析結果

図2に統計データと一致した群の、「BFB条件1」と「BFB条件2」のストループ・逆ストループ課題の反応時間を示す。2つのBFB条件について、計算課題後のストループ・逆ストループ課題の平均反応時間から、計算課題前のストループ・逆ストループ課題の平均反応時間を引

いた値を算出した。「BFB条件1」と「BFB条件2」で、どちらも回答時間が短くなっておりパフォーマンスの向上が確認された。

図3に統計データと一致しない群の、「BFB条件1」と「BFB条件2」のストループ・逆ストループ課題の反応時間を示す。「BFB条件1」の後では回答時間が長くなっており、パフォーマンスの低下がみられた。対して、「BFB条件2」の後では回答時間が早くなり、パフォーマンスの向上し、仮説を裏付ける結果が得られた。

5. 結言

本研究では、以下の2点について実験した。第一に、ストレスレベル評価における閾値の個人適用を要する実験参加者の割合を調査した。第二に、個人に応じて、最も高いパフォーマンスを発揮するストレス状態である「適切なストレス範囲」を設定した場合のBFBの効果を検証した。

ストレスレベル評価における閾値の個人適用を要する実験参加者の割合の調査については、5人中2人が統計に基づく適切なストレス範囲を適用できないということが確認された。これにより、個人に応じた適切なストレス範囲の必要性が確認できた。

個人に応じて、最も高いパフォーマンスを発揮するストレス状態である「適切なストレス範囲」を設定した場合のBFBの効果を検証については、統計データと一致した群は、「BFB条件1」と「BFB条件2」で、どちらもパフォーマンスの向上が確認された。統計データと一致しない群は、「BFB条件1」の後ではパフォーマンスの低下がみられたが、「BFB条件2」の後ではパフォーマンスの向上が確認された。これにより、個人に応じた適切なストレス範囲の設定の有効性が確認できた。

参考文献

- 1) 横須賀晴鷹, 葦川颯人, 柳澤一機, 学習者にストレス状態をフィードバックするパートナーロボットOvotの開発, Vol.145, No.7 (2025), pp. 631-638.
- 2) 中川千鶴, 鈴木綾子, 菊地史倫, 渡部貴浩, 秋保直弘, 小島崇, 個人毎に最適化した複数生理指標による強緊張状態の推定に関する検討, 人間工学, Vol.58, No.2 (2022), pp. 84-95.

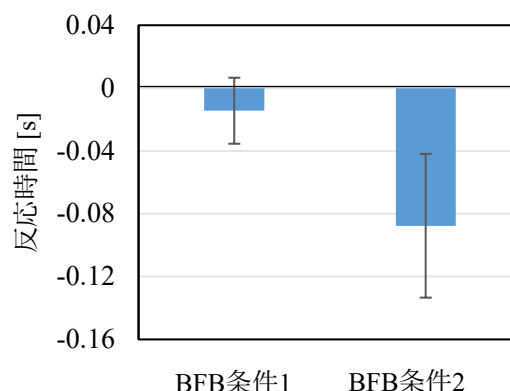


Fig2. 統計データと一致した群の各BFB条件の反応時間

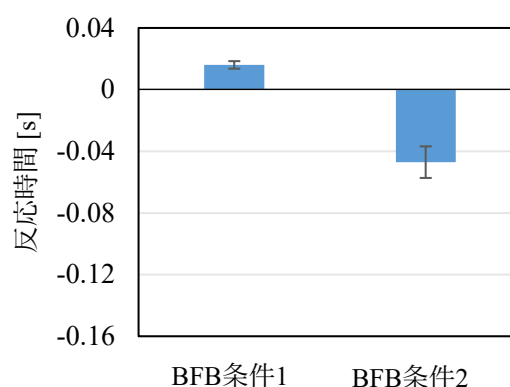


Fig3. 統計データと一致しない群の各BFB条件の反応時間

- 3) 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, No. Supplement, (2021), 2G2-2.
- 4) 榎本隆士, 心拍変動バイオフィードバックシステムのためのストレス評価指標の評価, 日本大学生産工学部修士論文, (2025).
- 5) D. Nunan, G.R.H. Sandercock, D.A. Brodie, "A quantitative systematic review of normal values for short-term heart rate variability in healthy adults", Pacing Clin Electrophysiol, Vol.33, No.11 (2011), pp.1407-1417.
- 6) 横須賀晴鷹, VDT作業者にストレス状態をフィードバックする小型パートナーロボットの開発と評価, 日本大学生産工学部修士論文, (2025).