

## 生理指標の多変量解析に基づく個人に依らないストレス推定手法の研究

井出 裕人<sup>†</sup> ロペズ ギヨーム<sup>†</sup> 酒造 正樹<sup>†</sup> ドロネー ジャンジャック<sup>†</sup> 山田 一郎<sup>†</sup> 浅野 倫子<sup>‡</sup> 横澤 一彦<sup>‡</sup><sup>†</sup>東京大学大学院工学系研究科 <sup>‡</sup>東京大学大学院人文社会系研究科 \*JST CREST

## 1. 緒言

近年、ストレス由来の神経精神疾患 (例. うつ病) や生活習慣病が大きな問題となっている。それを受けて我々はこれらの疾患の予防を目指し、人に生じているストレスを日常生活下でモニタリングする手法の研究を行っている。

人体に対し生体恒常性を乱す、または乱しうる負荷が加わると、体内では生体恒常性の維持・回復のために生理反応が生じる<sup>[1]</sup>。本研究では、この反応をストレス (ストレス反応)、ストレスを誘発する負荷をストレスと定義し、ストレスを反映する生理指標 (例. 心拍数) に着目する。

ストレスの分類の中でも、職場での作業ストレスは前述した疾患の原因と言われている<sup>[2]</sup>。既存研究では作業ストレスを、i) うんざり感を伴う単調作業ストレス、ii) 緊張感を伴う緊張作業ストレスの 2 種に分類し、それぞれに特有な変化を示す生理指標を明らかにした<sup>[3]</sup>。しかし、生理指標から人体に生じているストレスの種類を推定する試みは、その必要性に反して十分なされていない。これは、生理指標の変化に個人差があることや、ストレスの種類によって変化を示す生理指標が異なることにより、単一の生理指標ではストレスの種類を推定できないことに起因する<sup>[3]</sup>。そこで本研究は、複数の生理指標から個人差の小さい指標を選定し多変量解析することで、作業ストレスの種類を推定することを目的とする。

## 2. ストレス推定に用いる生体情報

本研究はストレスを捉えるにあたって、自律神経に着目する。自律神経は、心臓、肺、皮膚活動に影響を与えるため、上記活動を同時に計測することでストレスを捉えることができる。

本研究では、多チャンネル生体アンプ (Polymate II, デジテックス研究所製) を用いて、心電、脈波、呼吸、指部皮膚温度を計測し、ストレス推定に用いる生理指標を算出する。ストレス推定に用いる生理指標は下記の 9 個である。

- i) 心電から①RRV, ②心拍数, ③LF/RF<sup>[3]</sup>
- ii) 脈波から④脈波伝達時間  $t_{PAT}$
- iii) 呼吸から⑤呼吸重心周波数  $f_G$ , ⑥  $f_G$  と呼吸ピーク周波数  $f_P$  の差の絶対値  $|f_P - f_G|$ , ⑦呼吸時間  $t_R$ , ⑧呼吸時間の標準偏差  $std_{t_R}$
- iv) 指部皮膚温度から⑨平均指部皮膚温度  $T_F$

## General Stress Estimation Method Based on Multivariate Analysis of Physiological Indices

Hirohito Ide<sup>†\*</sup>, Guillaume Lopez<sup>†\*</sup>, Masaki Shuzo<sup>†\*</sup>,  
Jean-Jacques Delaunay<sup>†\*</sup>, Ichiro Yamada<sup>†\*</sup>,  
Michiko Asano<sup>‡\*</sup>, and Kazuhiko Yokosawa<sup>‡\*</sup>

<sup>†</sup> School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo,  
Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

<sup>‡</sup> Graduate School of Humanities and Sociology, The University of  
Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

\* Japan Science and Technology Agency, CREST

## 3. 生理指標データベース作成実験

## 3.1 実験概要

生理指標を用いてストレス推定をするためには、各種ストレスに対応するストレスを負荷し、その際の生理指標からなるデータベース (以後 DB) を作成する必要がある。本研究では単調作業ストレス、緊張作業ストレスに着目し、各種ストレスを発生させるため、精神的計算ストレスとして定評のある PASAT (Paced Auditory Serial Addition Test)<sup>[4]</sup> を実験参加者に課した。PASAT とは、音声で連続的に提示される 1 桁の数字を加算する作業である。5 分間の PASAT (PASAT1) を計算ストレスとして、60 分間の PASAT (PASAT2) を単調作業ストレスとして、ミスによる報酬減額を行う 5 分間の PASAT (PASAT3) を緊張作業ストレスとして、それぞれ 48 名、18 名、46 名の実験参加者に課した。PASAT は 5 分間の安静後に実施した。また、各 PASAT によって各種ストレスが生じたか確認するため、PASAT の前後において主観評価を計測した (Fig. 1)。なお、主観評価の計測にはストレス評価質問紙<sup>[5]</sup>を用いた。

## 3.2 実験結果

各種ストレスが発生したか確認するため、PASAT 前後の主観評価得点の変化量について、PASAT 間で有意差検定 (t 検定) を行った。検定の結果、PASAT1, 3 の正答率が 60% 以上の実験参加者群 (PASAT1: 19 名, PASAT2: 18 名, PASAT3: 21 名) において高水準の有意差が確認された。主観評価の結果を Fig. 2 に示す。PASAT1 時に比べ、PASAT2 時に倦怠得点が高く、PASAT3 時に緊張得点が高い。このことから、上記実験参加者群において各 PASAT 時、対応するストレスが発生していたと考えられる。

## 4. 実験環境でのストレス推定

## 4.1 推定手法

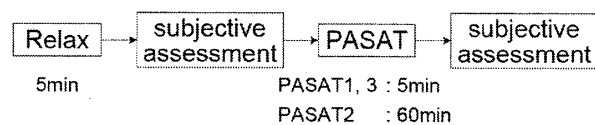


Fig. 1 Experimental procedure

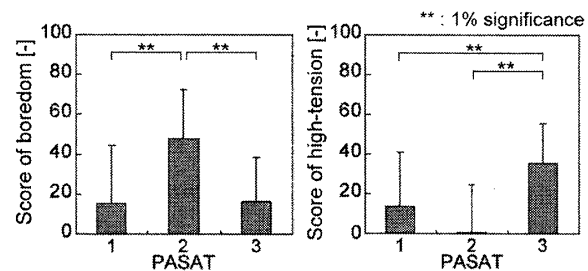


Fig. 2 Subjective assessment scores in each PASAT

推定に用いるべき生理指標の条件は「ストレスの種類を反映し、かつ個人差が小さいこと」である。そこで Fig. 3 に示す手順でストレス推定を行う。ステップ1において、「安静かストレス状態か」、ステップ2において、「発生しているストレスが計算ストレスかそれ以外か」、ステップ3において、「発生しているストレスが単調作業ストレスか緊張作業ストレスか」を推定する。前述の条件を満たす生理指標特定のため本研究では、各ステップにおいて交差検証法を用いた推定を行い、その際推定率が高くなる生理指標の組み合わせを特定する。本研究における交差検証法とは、「複数人の生理指標データの中からある個人のデータを取り出し、残りのデータを DB としてストレス推定を行うことを、人数分繰り返す」という手法を指す。

顕著な主観評価得点を示した39名 (各PASAT:13名) を前述の実験参加者群から抽出し、PASAT時5分 (PASAT2の場合、最後5分) のデータから時間窓1分のデータセットを390個 (安静:195個, 計算:65個, 単調:65個, 緊張:65個) 得た。推定には線形判別 (LDA), サポートベクターマシン (SVM) 等24種の判別法を用い、各ステップ、各判別法において推定率が高い生理指標、つまり推定に用いるべき生理指標を特定した。

#### 4.2 本推定手法の有効性検討

「各ステップにおいて個人差の小さい指標を用いてストレス推定を行う」本手法の有効性を検討した。検討にあたって、ステップを分けずに推定する手法 (手法1:全指標を用いて推定, 手法2:個人差の小さい複数の生理指標を用いて推定) と本手法 (手法3) の推定率を比較した。推定は、交差検証法を用いて39名分を行った。結果を Fig. 4 に示す。ほぼ全ての判別法において、個人差の小さい複数の生理指標の利用、ならびにステップ分けが推定率向上に寄与しており、本手法の有効性が確かめられた。

#### 5. ストレス推定手法の信頼性検討

4章において個人差が小さい生理指標を特定したが、これを用いるストレス推定の信頼性を保障する条件として、「DBを構成していない人のストレス推定にも適用できること」が挙げられる。そこで24種の判別法別に、推定率が高い生理指標の組み合わせを3セット選択し、この生理指標の組み合わせを用いた手法 (計72種) が上記条件を満たすか検討を行った。

検討に際して、DBの構成人数を増やしていき、DBサイズごとに各判別法の最大推定率を算出した。算出方法は4章に基づく。各DBにおいて、選択した手法での推定率と最大推定率との差が小さければ、今後DBの構成人数を増やしても高い推定精度を維持できると考えられる。本研究では、「両者の差が5%以下になる頻度」を信頼性基準とした。信頼性が最大の手法3-A (判別法:ガウシアンカーネル ( $\sigma=2.25$ ) のSVM, ステップ1で用いる生理指標:  $RRV \cdot LF/RF \cdot f_G \cdot t_e \cdot t_{PAT} \cdot T_F$ , ステップ2で用いる生理指標:  $心拍数 \cdot f_G \cdot std_{t_1} \cdot t_{PAT} \cdot T_F$ , ステップ3で用いる生理指標:  $RRV \cdot LF/RF \cdot |f_p - f_G| \cdot t_e \cdot std_{t_1} \cdot t_{PAT}$ ) を用いて推定した時の結果を Fig. 5 に示す。DBの構成人数が23名以上において、最大推定率との差が5%以下になった。結果から判断するに、今後DBの構成人数を増やしても、手法3-Aは最大推定率に近い精度 (39名DBにてストレス種の推定率

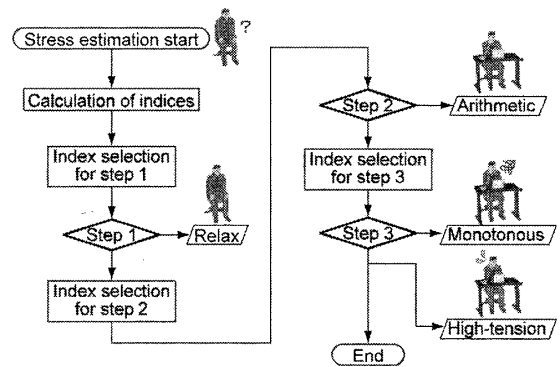


Fig. 3 Estimation procedure

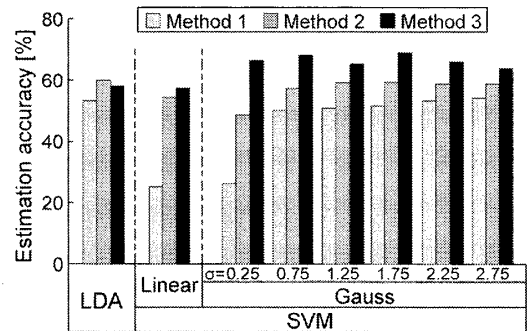


Fig. 4 Estimation results for each method

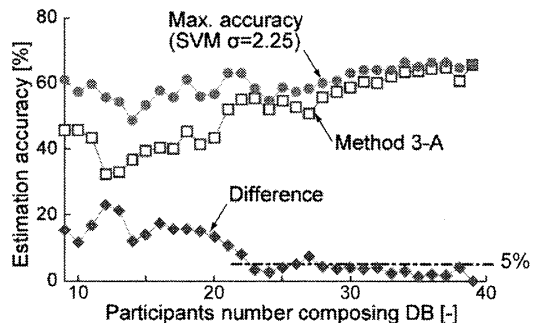


Fig. 5 Estimation accuracy in each database

66%, ストレス有無の推定率 89%) を維持できると考えられる。

#### 6. 結言

本研究では、複数種のストレスを個人によらず推定するにあたって、「推定処理をステップ分けし、各ステップにおいて個人差の小さい複数の生理指標を用いること」の有効性を示した。また、個人に依らないストレス推定手法として信頼性の高い手法を特定した。

#### 参考文献

- [1] 西条寿夫他, “ストレス反応の身体表出における大脳辺縁系—視床下部の役割,” 日本薬理学雑誌, vol. 126, no. 3, pp. 184-188, 2005.
- [2] 荒記俊一他, “職場ストレスの健康管理,” Japanese journal of industrial health, vol. 35, pp. 83-97, 1993.
- [3] 小木和孝他, “人間感覚データベース構築モデル事業成果報告書,” 人間生活工学研究センター, pp. 62-74, 2000.
- [4] D. Carroll, et al., “Metabolically exaggerated cardiac reactions to acute psychological stress revisited,” Psychophysiology, vol. 46, pp. 270-275, 2009.