

非負値行列因子分解を用いた前頭前野脳活動データによる 不安指標推定法

山本 康平[†] 鏑木 崇史[†] 栗原 陽介[†]

青山学院大学 理工学部 経営システム工学科[†]

1. はじめに

近年、ストレスに関連した要因が健康を阻害することが多く報告されており、精神疾患の外来患者数もここ数年で急激に増加している[1]. このことから、事業所では不安指標(STAI)などの自己報告法を用いて、ストレスチェックの実施が義務化された[2]. しかし自己報告法では質問票への記入を自分の都合がよいように意図的に操作する可能性があり、正確にストレスを評価できない恐れがある. そのため、自己評価法によるストレスの定量化は解決すべき課題だといえる. このような背景のもと脳活動から STAI スコアを推定する研究が成されている[3][4].

本研究では刺激下において複数箇所の前頭前野脳活動データから得られる多次元の時系列情報より STAI を推定する方法を提案する. 先行研究[5]では脳波において非負値行列因子分解により特徴スペクトルの抽出が可能とされている. そこで脳血流においても非負値行列因子分解を行い、特性不安由来の特徴量として指標 *NMF-LIR*, 状態不安由来の特徴量として指標 *wmc-LIR* と平均を用い、特性不安要素から状態不安要素を取り除き、高精度な特性不安推定を目的とする.

2. 提案手法

本研究では感覚に関する因子を刺激由来の脳血流, 特性不安, 状態不安に関する因子は不安由来の脳血流と仮定し, それらに脳内での伝達, 処理に応じて係数をかけたものが実際に1つの脳血流量と

して計測されると仮定する. そこで非負値行列因子分解を用いて計測された脳血流を分解し, 不安由来, 刺激由来の脳血流量の中から特性不安推定の特徴量となる脳活動を推定する.

本研究の提案モデルを図1に示す. 脳内モデルにおいて, 先行研究[4]によるとそれぞれが独立した不安由来の脳血流 $x_{ANX}(t)$ と刺激由来の脳血流 $x_{STI}(t)$ の非線形関数 $f_{m,OBJ}(*)$ による変換であると言われている(式(1)).

$$x_m(t) \approx f_{m,OBJ}(x_{ANX}(t), x_{STI}(t)) \quad \dots (1)$$

次に推定モデルにおいて, NIRS のチャンネル $m(m \in (1, \dots, M))$ における脳血流信号を以下の式(2)のような $x_m(k)$ と, 雑音などのノイズ $n_m(k)$ の線形和 $y_m(k)$ として表せるとする(式(2)).

$$y_m(k) = x_m(k) + n_m(k) \quad \dots (2)$$

$y_m(k)$ に対して, ノイズ $n_m(k)$ を除去し脳血流量データのみを取り出すために, デジタルフィルタであるバンドパスフィルタを用いて任意の周波数 $f_{start}[\text{Hz}](0 \leq f_{start} \leq f_s/2)$ から $f_{end}[\text{Hz}](0 \leq f_{end} \leq f_s/2)(f_{start} \leq f_{end})$ まで抽出を行う. この処理によって導出されたデータを脳血流量データ $x_m(k)$ とする(式(3)).

$$x_m(k) = BPF(y_m(k), f_{start}, f_{end}) \quad \dots (3)$$

そして $x_m(k)$ を用いて前頭前野 m カ所を右脳側 R と左脳側 L の2つの群に分類し, 群の中の各箇所に重みづけをした脳血流量 $x_R(k), x_L(k)$ から *wmc-LIR*_{RL}(式(4)), 前頭前野1カ所での脳血流量の時間平均 A_m (式(5))を状態不安由来の特徴量,

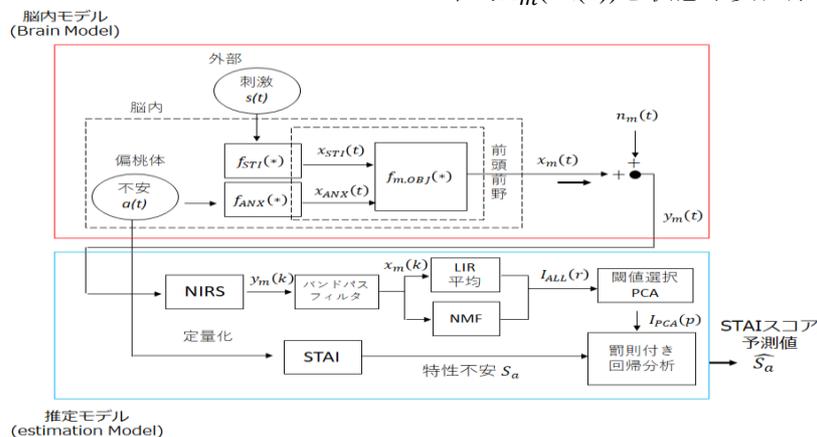


図1 提案モデル

$$wmc - LIR_{RL} = lir(x_R(k), x_L(k))$$

$$= \frac{\sum_{d=1}^D [W_R \{x_R(k) - \min(x_R(k))\} + W_L \{x_L(k) - \min(x_L(k))\}]}{\sum_{d=1}^D [W_R \{x_R(k) - \min(x_R(k))\} + W_L \{x_L(k) - \min(x_L(k))\}]} \quad \dots (4)$$

$$A_m = ave(x_m(k))$$

$$= \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D x_m(k) \quad \dots (5)$$

非負値行列因子分解後の指標 $NMF - LIR_{st}$ (式(6)(7)(8)) を刺激, 特性不安由来の特徴量として用いる.

$$z_m(k) = \sum_{d=1}^D (x_m(k) + abs(\min(x_m(k)))) \quad \dots (6)$$

$$z_m(k) = V_q(k) \cdot W_q(m)^t \quad \dots (7)$$

$$NMF - LIR_{st} = lir(V_s(k), V_t(k))$$

$$\frac{\sum_t [\{V_s(t) - \min(V_s(t))\} - \{V_t(t) - \min(V_t(t))\}]}{\sum_t [\{V_s(t) - \min(V_s(t))\} + \{V_t(t) - \min(V_t(t))\}]} \quad \dots (8)$$

次に得られた特徴量に対して目的変数である STAI スコアに無影響な特徴量の除去のため, 各特徴量と特性不安との相関係数の絶対値が閾値を上回るもののみを寄与特徴量 $I_{CTB}(q)$ と選択する. さらに, 特徴量同士の冗長性の排除のため主成分分析による次元圧縮を行い, 主成分特徴量 $I_{PCA}(p)$ を算出する. STAI スコア S と I_{PCA} を用いて Ridge 回帰を行い, 回帰係数 β を求め, 未知データの STAI スコア推定値 \hat{S} が求まる (式(9)).

$$\hat{S} = \sum_{p=1}^P \beta(p) I_{PCA}(p) + \beta(0) \quad \dots (9)$$

3. 実験システム

計測機器として, ウェアラブル光トポグラフィ (WOT-100) を用いた. 被験者はインフォームドコンセントに同意をした 27 名で, STAI への回答後に, 30 秒安静, 60 秒計算, 30 秒安静の計測を行った. 評価方法として, 被験者ごとの交差検定による推定値と真値の相関係数及び RMSE を用いた.

4. 実験結果

図 2 に特性不安の STAI スコアの真値と推定値の散布図を示す. 相関係数は 0.702, RMSE は 4.51 となった. 状態不安において高精度な推定を可能にした先行研究[4]における手法による特性不安推定結果は相関 0.295, RMSE 6.05 となっており, 本研究の手法のほうが相関, RMSE とともに良くなっているといえる.

5. むすび

本研究では, 外部刺激環境下での広域前頭前野

に対応した多次元の特徴量を定義し, Ridge 回帰を用いて特性不安 STAI スコアを推定する方法を提案した. 非負値行列因子分解により特性不安, 刺激由来の脳活動を推定したのも特徴量として用いることで, 特性不安においても高精度な STAI スコア推定が可能であると分かった.

今後の課題, 展望として今回は被験者が 10-20 代の学生だったのに対し, 事業所などで実際にチェックを行う可能性が高く国内で精神疾患患者数の最も多い 40 代の社会人などを対象にして実験を行い, そのデータを使用しても有意な差がないかを検討する必要がある.

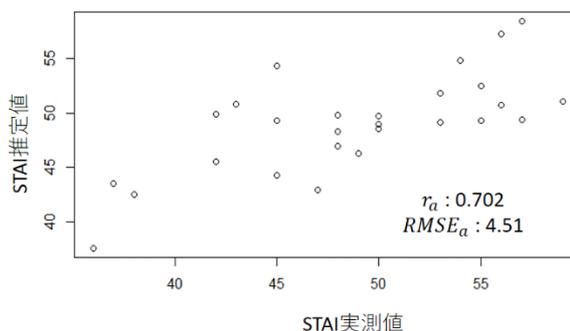


図 2 STAI スコアの真値と推定値の散布図

6. 参考文献

- [1] 厚生労働省. (2011). 精神疾患のデータ精神疾患による患者数. Retrieved 10/24, 2016,
- [2] 厚生労働省. ストレスチェック精度の実施状況, 2017. Available : <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/0000172107.html>
- [3] W.Ishikawa, M.Sato, Y.Fukuda, T.Matsumoto, N.Takemura, K.Sakatani, "Correlation between Asymmetry of Spontaneous Oscillation of Hemodynamic Changes in the Prefrontal Cortex and Anxiety Levels : A Near-Infrared Spectroscopy Study", Journal of Biomedical Optics, Vol.19, No.2, pp1-7, 2014
- [4] 松下 貴弘 外部刺激環境下における広域前頭前野脳活動データを用いた STAI スコア推定法 情報処理学会第 80 回全国大会論文集 2ZA-08
- [5] H.Lee, A.Cichocki, S.Choi, "Kernel nonnegative matrix factorization for spectral EGG feature extraction" Neurocomputing 72 (2009) 3182-3190

Anxiety Index Estimation Method using prefrontal cerebral activity utilizing Non-negative Matrix Factorization
 † Kohei Yamamoto Takshi Kaburagi Yosuke Kurihara
 Aoyama Gakuin University, Dept of Industrial Engineering and Systems Engineering