

NIRS による安静時前頭前野脳活動の左右差と STAI 相関性：統計的検定

澁田 悠子¹, 市川 和俊¹, 福田 行克¹, 松本 隆¹, 竹村 尚大², 酒谷 薫²

¹早稲田大学 ²日本大学

1 はじめに

近年,統合失調症や鬱病等のストレスが原因の精神疾患患者が増加しており,社会的な問題となっている.臨床現場ではアンケート形式の間診が主流であり,回答者が肉体的に衰弱しておりアンケートに答えることが困難な場合や回答者の主観や意図に影響される可能性があることから,センサーにより人の脳から直接情報を読み取りストレスを評価することを検討することは意味があると考えられる.

我々の研究グループではこれまで,近赤外分光法計測による安静時脳活動の左右差に基づく特徴量 LIR (Laterality Index at Rest)を提案し,これとアンケートによるストレス評価指標 STAI(State-Trait Anxiety Index)の状態不安に正の相関があることを示した[1].この指標が年齢層に依存するか否かを調べるのが本研究の目的である.用いる手法はブートストラップ法である.

2 データと手法

年代の異なる二つの被験者層データを取得した.脳活動を計測する2チャンネル pocket NIRS 装置 PNIRS-10 (Hamamatsu Photonics K.K., Japan)を使用し,ストレス評価指標は広く医学・心理学研究に用いられている状態-特性不安検査 (STAI) を用いた.

2.1 NIRS 計測

近赤外分光法 (NIRS) 計測器は,頭部に生体透過性の高い近赤外光 (波長約700 ~1000nm) を照射し,生体内のHb(ヘモグロビン)酸素代謝変化を測定するもので,酸素化Hbと脱酸素化Hbで吸光スペクトルが異なる特性を利用している.

2.2 STAI

不安心理状態の定量化の手法で,20 項目の質問に答えるアンケート形式であり,状態不安(「いま」の不安)と特性不安(「普段」の不安)が 20 から 80 で点数化される.本稿では状態不安を使用する.

2.3 データセットと実験プロトコル

精神及び神経に関する疾患にかかったことのない20~24歳の若年層19人 (データセット1) と,60~79歳の高齢者層20人 (データセット2) からデータを取得し,被験者からは日本大学医学部倫理委員会によって承認されたフォームを用いてインフォームドコンセントを得た.計測プローブは国際 10-20 法における Fp1/Fp3 の中点及び Fp2/Fp4 の中点の計2カ所に,左右対称に貼付した.サンプリング周波数は 10 Hz とした.各々のチャンネルからは酸素化・脱酸素化Hb血中濃度の変化量が時系列データとして計測される.図1にNIRS時系列データ,計測風景を示す.被験者にはまず STAIへ回答してもらい,NIRSの計測開始点の設定後,1分間の準備時間を経て,3 分間目を開けたまま安静にしてもらいNIRS計測を行った.

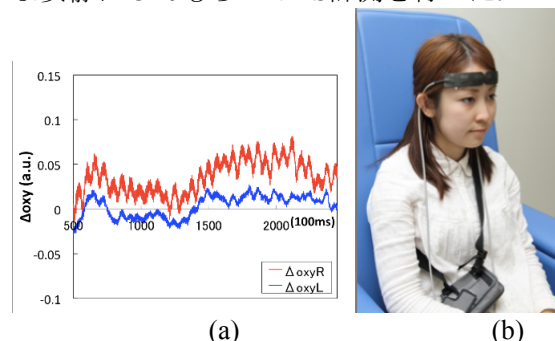


図1 時系列NIRSデータ(a)と計測風景(b)

3 アルゴリズム

3.1 LIR

本研究では[1]で提案された特徴量 **Laterality Index at Rest (LIR)** を用いる:

$$LIR = \frac{\sum_i ((\Delta oxyR_i - \Delta oxyR_{\min}) - (\Delta oxyL_i - \Delta oxyL_{\min}))}{\sum_i ((\Delta oxyR_i - \Delta oxyR_{\min}) + (\Delta oxyL_i - \Delta oxyL_{\min}))} \quad (1)$$

ここで $\Delta oxyR_{\min}$, $\Delta oxyL_{\min}$ は解析時間における最小値を表しており,これを引くことで $\Delta oxyR_i - \Delta oxyR_{\min}$, $\Delta oxyL_i - \Delta oxyL_{\min}$ は常に非負の値をとり,指標の解釈が比較的明快になる.

3.2 ブートストラップ法

ブートストラップ法は Efron[2]によって提唱された統計的サンプリングの方法の一つであり,特に対象とするデータ数が少ない時などに成功裏に用いられている.データ x_1, x_2, \dots, x_k から無

Statistical tests of the Pearson correlation coefficients between Laterality Index at rest of Prefrontal Near-Infrared Spectroscopy data and State-Trait Anxiety Inventory.

† YukoFuchida¹,

‡ Kazutoshi Ichikawa¹, Yukikatsu Fukuda¹, Takashi Matsumoto¹, Naohiro Takemura², Kaoru Sakatani²

¹Waseda University, ²Nihon University

作為復元抽出を k 回行うことで大きさ k の標本

$$X^b = \{X_1^{*b}, X_2^{*b}, \dots, X_k^{*b}\}$$

(ただし $b=1, 2, \dots, B$, B は標本数を表す) を作成し, これをブートストラップ標本と呼ぶ. 本稿では母集団と同じ標本サイズとする.

3.3 コルモゴロフ・スミルノフ検定

この研究では二標本コルモゴロフ・スミルノフ検定を用いた. 帰無仮説を「標本 x と標本 y が同一分布に由来する」とし, 有意差が出た場合に x と y は同一の分布から生じていないという結論を支持する. 2つの母集団からそれぞれ大きさ m, n の無作為標本

$$x_1, \dots, x_m, y_1, \dots, y_m$$

が抽出されたとき経験累積分布関数を,

$$S_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i(x) \quad \text{ただし} \quad X_i = \begin{cases} 1 & (x_i \leq x) \\ 0 & (x_i > x) \end{cases}$$

とし, 検定統計量

$$D = \sup_{-\infty < x < \infty} |S_n(x) - S_m(x)|$$

を考える. これは x が全ての範囲で動いた時の $|S_n(x) - S_m(x)|$ の sup 値を表す. 検定における有意水準を α としたとき,

$$D > \sqrt{\{-(n+m) \log(\alpha/2)\} / 2nm} \quad (2)$$

であれば帰無仮説を棄却する.

4 実験

上述の二つのデータセットを統合したデータ, と独立に二対ブートストラップ法を用い, それぞれ 10000 個のブートストラップ標本を作成した. これらの標本における LIR と STAI 値のピアソン相関係数を計算したうえ 10000 点の相関係数のヒストグラムを作成した. 図 2 にこれを示す. (a) の信頼区間は $[0.177, 0.738]$, (b) の信頼区間は $[0.178, 0.820]$ なのでこれらについては正の相関があると考えてよいと思われる. 一方 (c) の信頼区間は $[-0.0760, 0.827]$ でありわずかではあるが負の領域に下限がある. そこで, 年齢層依存の可能性を調べるため, (b) と (c) のデータに対して有意水準を $\alpha = 0.05$ としてコルモゴロフ・スミルノフ検定を行った.

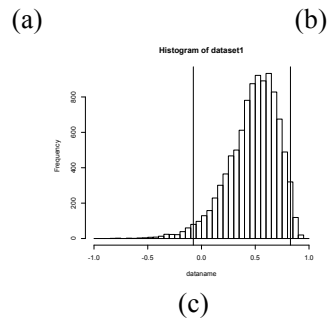
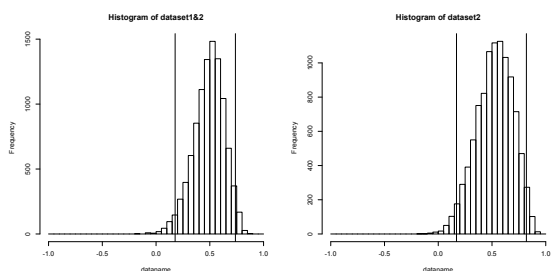


図2 ブートストラップサンプルから求めた相関係数のヒストグラム. 縦線は信頼区間を表す. (信頼区間はパーセントイル法[3]により求めた) (a) 統合データ, (b) 60~79 歳の高齢者層 20 人. (c) 20~24 歳の若年層 19 人.

5 結果

両データセットにおいて作成したヒストグラムに関して, コルモゴロフ・スミルノフ検定を行った結果

$$D = 0.273$$

となった. 一方, (2) 右辺の

$$\text{棄却限界値} = 0.277$$

であり, 棄却限界値より D 値が小さいため帰無仮説は棄却できない. これにより年齢層の違いによる有意差は認められない, と結論してよいと考えられる.

6 まとめ

ブートストラップ法を用いることにより, センサーデータからの特徴量 LIR とアンケートによる STAI 状態不安との相関係数のヒストグラムを作成した. 特に若年層データに skew が見られた. また, コルモゴロフ・スミルノフ検定により, 若年層と高齢者層の違いを検定した. 当該相関係数は年齢層に依存しないのではないかと考えられる.

参考文献

- [1] Wakana Ishikawa et al. "New Method of Analysing NIRS Data from Prefrontal Cortex at Rest", The International Society of Oxygen Transport to Tissue (ISOTT) 2012
- [2] B. Efron. Bootstrap methods: Another look at the jackknife. The Annals of Statistics, 7(1):1-26, 1979.
- [3] 汪金芳, 田栗正章. 「統計科学のフロンティア: 新しい計算手法と統計学, 第 11 巻, 計算統計 I - 確率計算の新しい手法; ブートストラップ法の基礎」, 岩波書店. 2003