

被験者の内在的要因を考慮した fNIRS データのクラス分類手法の提案と検討

福原 理宏

Michihiro FUKUHARA

1 はじめに

人間の感性や情動を測定する手段のひとつとして fNIRS (functional near infrared spectroscopy) を用いた脳機能研究が注目されている。fNIRS は近赤外線を用いて脳活動に伴い変化する脳血流変化を測定する装置である。脳血流変化計測の例として、年齢の差といった特徴の違う被験者の群を比較することで脳活動を検討し、脳機能の解明に役立てられている。しかし、人にはそれぞれ異なる疲労や眠気といった内在する要因 (内在的要因) が存在し、脳血流変化に影響を及ぼすことが知られている¹⁾。この影響がノイズとなり、計測結果の再現性を低下させる問題がある。そのため検討している被験者の群が、予期しない要因の影響を受ける可能性が考えられる。このことが、fNIRS データの誤った解釈に繋がる可能性が懸念される。これらのことから、内在的要因の影響を検討するための手法が必要である。

本研究では、fNIRS データに対して因子分析を用いて被験者を分類し、内在的要因を抽出する手法を提案する。そして、被験者を分類した結果とアンケート結果や脈拍成分との比較を行い、提案手法の有効性を検討する。

2 因子分析を用いた fNIRS データの分類

2.1 因子分析

因子分析とは多変量解析手法のひとつで、複数の観測変数が共通する構成要素 (共通因子) からなると仮定し、その相関関係を推定する手法である。本研究では、観測変数に各被験者の fNIRS データを当てはめ、共通因子と被験者の相関を推定する。次節より、fNIRS データへの因子分析の適用方法について述べる。

2.2 fNIRS データへの因子分析の適用方法

因子分析では観測変数が統計的に独立である必要がある。また、fNIRS データには体動やゆらぎ成分 (トレンド成分) が含まれ、因子分析の分析精度を低下させるため、この影響を考慮する必要がある。本研究で行なった処理の流れを以下に示す。

1. 階差処理によるゆらぎ成分の除去

式 (1) のように階差成分を求めゆらぎ成分を取り除いた。ここで、 $x(t)$ は時刻 t の fNIRS 信号である。

$$DIFF = x(t) - x(t-1) \quad (1)$$

2. FFT のオーバーラップ処理

体動のような局所的でランダムに生じるノイズの影響を低減する。256 サンプルの時間窓を少しずつずらしながら、FFT を繰り返し実行し、すべての FFT の実行結果を加算平均した。(オーバーラップ率は 99% とした)。このとき窓関数としてハニング窓を用いた。この結果を因子分析の入力値 (観測変数) とした。

3. 並行分析による因子数の決定

観測変数に対して最適共通因子数を求める手法である並行分析を用いて、共通因子数を決定した。

4. 因子の抽出

最尤法により因子の推定を行なった。因子の回転法は、プロマックス法を用いた。

5. クラスタリング

各被験者と共通因子の相関値 (因子負荷量) を評価値として、クラスタリング手法である k-means 法を用いて被験者を分類した。

3 提案手法の検証実験

3.1 実験方法

被験者は 20 代前半の男性健常者 12 名に協力して頂いた。課題はストループテストを用いた。ストループテストとはカラーワードに対して色命名を行う課題である。色と語の意味が異なった際 (不一致課題) に回答が困難になる性質があり、注意力の測定にしばしば用いられる。実験の流れはストループテストの不一致課題を 120 秒間行い、その前後にレスト期間を 30 秒間設けた。レスト期間には、被験者は開眼した状態で安静にした。また、実験終了時には疲労と眠気に関するアンケートを行った。このアンケートは、5 段階の程度で現在の疲労と眠気に関して主観的に回答するものである。fNIRS 装置は ETG-7100 (Hitachi medical Co.) を用い下前頭回にあたる部位 1CH で測定した。

3.2 提案手法の実行結果

提案手法を本実験データに適用した結果、因子は 3 つに分類された。特に寄与率の高かった 2 つの因子と被験者の因子負荷量との関係を Fig. 1 に示す。図中の点は、被験者を表している。k-means 法によりクラスタリング

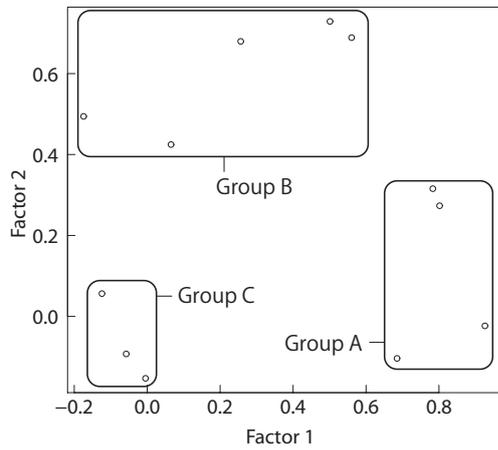


Fig. 1 因子分析結果（因子1, 2と被験者の関係）

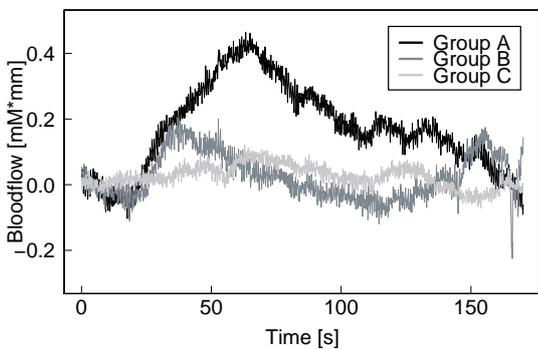


Fig. 2 提案手法により分類した各被験者群の脳血流変化

された被験者群のうち、因子1, 2, 3に偏ったものをそれぞれGroup A, B, Cとした。また、各群の時間領域で示した脳血流変化と、FFT処理を行い周波数領域で示した脳血流変化の結果をFig. 2, Fig. 3に示す。脳血流変化の活性の大きさに差異がみられ、各群の傾向が大きく異なることがわかる。また、周波数領域でみた結果の約1 Hz付近で見られる反応は、脈拍に由来する成分である。この脈拍成分をみると、Group AとBではあまり差がないが、Group Cは脈拍が遅かった。また、Group Bは脈拍成分の値が大きかった。また、心理的評価のアンケート結果をFig. 4に示す。この結果をみると、血流変化が大きい群ほど疲労が少なく、眠気が多い結果となった。次節において各群の内在的要因の関与について考察する。

3.3 考察

心因性による脈拍の増加は緊張や不安などからくるストレスの増加との相関がある²⁾。このことから、Group Bの脈拍成分のパワー値が高いため比較的課題の負荷を受け、ストレスを感じていた被験者であることが考えられる。また、脳血流量と疲労と眠気の関連性を調査し

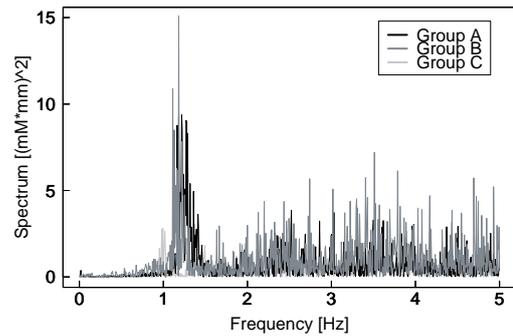


Fig. 3 各群の周波数成分に見られる脈拍成分

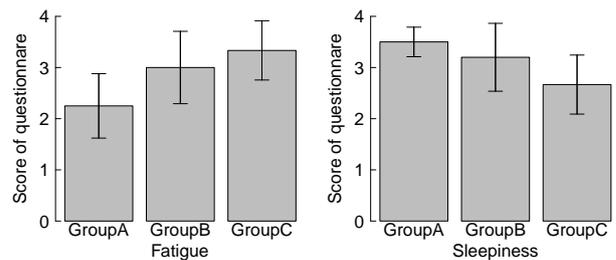


Fig. 4 疲労と眠気に関するアンケート結果

た報告¹⁾では、脳血流量が大きいほど疲労は少なく眠気は多い、脳血流量が小さいほど疲労は多く眠気が少ないという相関関係がみられることが示唆されている。この傾向は本研究の結果 (Fig. 4) と同一であることから、Group AとCが疲労や眠気に起因した因子であると考えられる。これらの検討から、提案手法の有効性を確認できた。

4 まとめ

本研究では、fNIRSデータに含まれる内在的要因の影響を検討する方法として、被験者を分類して各群の検討を試みた。また被験者を分類するために、因子分析による内在的要因を考慮した分類手法を提案した。提案手法の有効性を検討するためにfNIRSデータに適用する検証実験を行った。分類した被験者群を検討した結果、ストレス、眠気、疲労といった因子の存在が示唆され、提案した内在的要因の分類手法の有効性が確認できた。

これらの検討から、本手法を実験者が計測した被験者群の内在的要因を考察するための予備的検討ツールとしての活用が期待できる。

参考文献

- 1) M. Suda et al. Subjective feeling of psychological fatigue is related to decreased reactivity in ventrolateral prefrontal cortex. *Brain Research*, Vol. 1252, pp. 152–160, 2009.
- 2) T. Wheeler et al. Cardiac denervation in diabetes. *British Medical Journal*, Vol. 4, No. 5892, pp. 584–586, 1973.