

# 因子分析を用いた fNIRS に対する内在的要因の抽出

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) を用いた研究が盛んに報告されている。この装置を用いた脳血流変化量の計測は、疾患患者と健常者の間で平均変化パターンが異なることから、精神疾患の診断手法として注目されている。

しかし、外的環境や人に内在する要因(疲労や眠気など)の影響が計測結果の再現性を低下させるという問題がある。これらの影響の対策として現在では、外的環境の影響は実験環境を統制することで影響を取り除いている。また人に内在する要因の影響は、フィルタ処理や加算平均処理を用いることで影響を低減している。しかし、影響する内在的要因そのものにもとづいた処理手法は十分に検討されていない。近年では、脳血流変化に内在的要因である眠気や疲労の影響が生じることが報告されている<sup>1)</sup>。このようなことから、人の中に内在する要因の影響を考慮した処理手法の検討が必要である。

そこで本稿では、fNIRS データに対して因子分析を用いて被験者の分類を行い内在的要因を抽出する手法を提案する。そして、被験者の分類を行った結果とアンケート結果の比較を行い、本手法の有効性を検討する。

## 2 因子分析による fNIRS データの分類

### 2.1 因子分析とは

因子分析とは多変量解析手法の一つで、観測変数を式(1)のように共通する複数の構成要素(共通因子)からなると仮定し、そのパラメータを推定する手法である。ここで、 $x_{ik}$  は観測変数、 $a_{ik}$  は因子負荷量、 $f_{ik}$  は共通因子、 $e_{ik}$  は独自因子と呼ぶ。共通因子の数は予め決定する必要がある。

パス図では Fig. 1 のように表現される。本稿では、各観測変数に被験者の fNIRS データが当てはまり、共通因子と被験者の関係を、因子負荷量の値をもとに評価する。

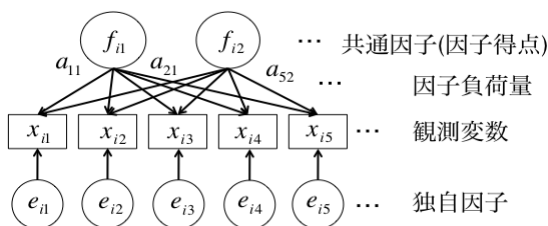


Fig.1 因子分析のモデル

$$\begin{aligned}
 x_{i1} &= a_{11}f_{i1} + a_{12}f_{i2} + e_{i1} \\
 x_{i2} &= a_{21}f_{i1} + a_{22}f_{i2} + e_{i2} \\
 x_{i3} &= a_{31}f_{i1} + a_{22}f_{i2} + e_{i2} \\
 x_{i4} &= a_{41}f_{i1} + a_{22}f_{i2} + e_{i2} \\
 x_{i5} &= a_{51}f_{i1} + a_{22}f_{i2} + e_{i2} \\
 &\dots
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

### 2.2 fNIRS データへの因子分析の適用方法

因子分析の推定モデルは観測データが独立同一であるという前提で構築されており、時系列データを直接適用することは不適当である。そこで、それらの仮定を満たす処理を行う必要がある。

本研究で行なった処理の流れを以下に示す。

1. 脳血流変化時系列データを離散フーリエ変換により、観測データを周波数領域で扱うことで、独立性を実現した<sup>2)</sup> <sup>3)</sup>。
2. 観測変数に対して最も最適な共通因子数の数を求める手法である並行分析を用いて、共通因子数を客観的に決定した。
3. 上記処理の結果をもとに因子分析を実行した。パラメータの推定に用いた手法は、一般的に用いられている最尤法を選択した。また、プロマックス法を用いて軸を回転した。
4. 各被験者の各共通因子に対する因子負荷量を評価値として、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

提案手法の検証を行うために、ストループテスト時の脳血流変化を fNIRS 装置を用いて測定し、検討を行なった。

### 3.1 fNIRS

fNIRS は、近赤外線分光法を用いた大脳皮質付近の神経活動に伴い変化する血流量の相対的变化を多点で計測し画像化する脳機能イメージング装置である。本実験では、fNIRS 装置に日立メディコ製の ETG-7100 を用い、脳の神経活動に伴い増加するとされる oxyHb 濃度変化量を用いて検討を行った。装置のサンプリング周波数は 10Hz である。計測部位は、下前頭回付近にあたる部位である。この部位はストループテストの不一致課題において血流量の上昇がみられる部位である<sup>4)</sup>。設置の際は国際 10/20 法を参考に設置方法を定めた。

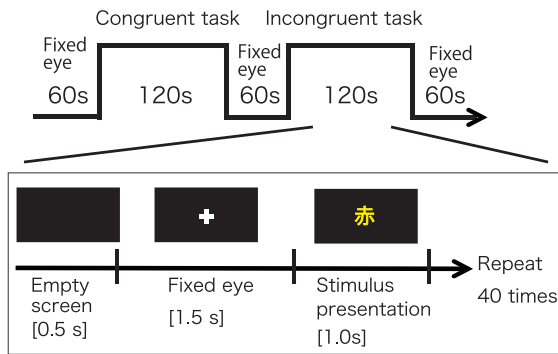


Fig.2 実験の手順

### 3.2 実験環境と被験者

検討に使用したデータは、ストループ効果が生じていると考えられる不一致課題時における oxyHb のデータ (被験者一人当たりのサンプル数: 1701) である。

被験者は、健康な男性 12 名 (年齢: 21-22, 全員右利き) を対象に実験を行なった。

### 3.3 実験手順

実験設計はストループテストを扱った先行研究を参考に以下の流れで行った<sup>5)</sup>。

1. 課題の練習と fNIRS の装着
2. 本実験 (ストループテスト)

本実験ではストループテストを行った。一致課題、不一致課題の順に実験を行い、その間には注視の時間を設けた (Fig. 2)。課題期間では Fig. 2 の下図に示した流れで実験を行なった。何も表示されない時間の後 (0.5 s)、十字マークが表示され (1.5 s)、その後色つき文字を表示した (1.0 s)。その際被験者は表示された色に対応する色ボタンを押した。40 回回答が終了すると「注視」の状態に再び戻る。

3. アンケート

実験終了後に、主観的疲労度と主観的睡眠度に関するアンケートを実施した<sup>6)</sup>。それぞれ七段階の程度を設定しており、被験者はその中の一つに記入を行なった。

### 3.4 因子分析の実行結果

並行分析を行なった結果、共通因子数を 3 つに決定した。

2.2 節に示した手法を適用した際の、各共通因子における被験者別の因子負荷量を Fig. 3 に示す。また、結果の見通しを良くするため Factor1 と Factor2 を軸とした際の被験者の因子負荷量の値を Fig. 4 に示す。Factor1 と Factor2 は、3 つの共通因子の中で影響度 (因子得点) が高かった要因である。それぞれの要因に被験者が偏る傾向がみられた。

ここで、図の数字が被験者、青色と赤色の枠が k-means 法 ( $k = 2$ ) を用いて 3 つの共通因子に対して 2 分類した被験者の属する群を囲んだものである。検討での便宜上、

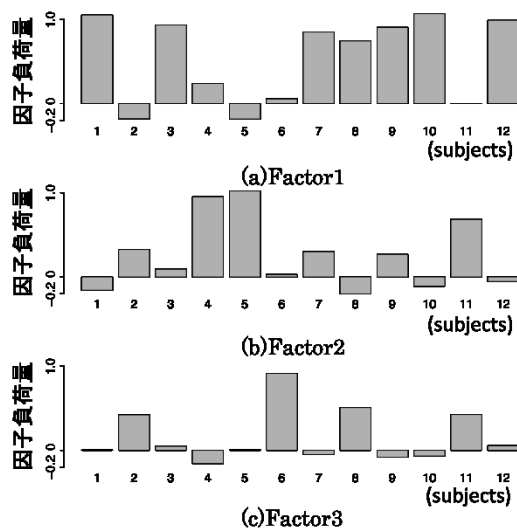


Fig.3 各共通因子における被験者の因子負荷量

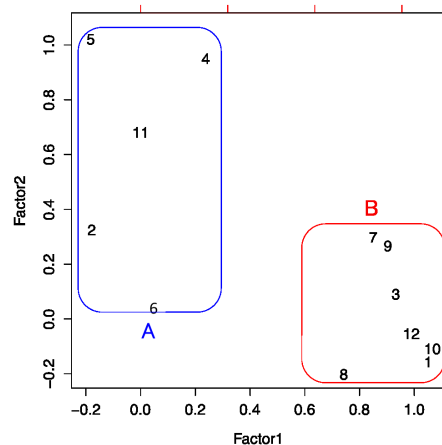


Fig.4 Factor1 と Factor2 を軸にした因子分析結果

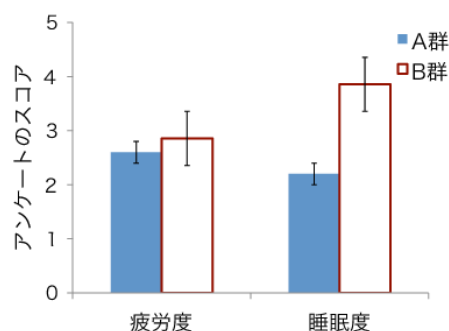


Fig.5 被験者を分類した各群のアンケート結果

右側の群を A 群, 左側の群を B 群とする。

### 3.5 分類した群とアンケート結果の比較と考察

Fig. 4 で分類した各群のアンケート結果を Fig. 5 に示す。

睡眠度では、B 群の被験者に眠気が多いことが分かった。この結果から、この群の被験者は Factor1 の影響を

強く受けており、この因子が睡眠度を表す軸であったことが考えられる。先行研究において、睡眠時間が短いほど脳血流量が増加することが示唆されていた<sup>1)</sup>。そこで、本稿の各群の oxyHb 変化量の時系列変化をみると (Fig. 6)、本稿の結果でも同一の傾向を確認出来た。このことから、本提案手法による被験者の分類によって、睡眠による影響を抽出できる可能性が示唆された。

一方、疲労度には各群に差はみられなかった。先行研究では、疲労度が高いほど脳血流変化量が増加することが示唆されていた<sup>1)</sup>。また、反応時間など他のスコアと比較しても、B群において有意差のみられるものはなかった。この理由として、Factor1 の因子得点が他の因子より高く、Factor2 と 3 の影響があまり反映されなかったことが考えられる。

Table1 各共通因子の因子得点

	Factor1	Factor2	Factor3
因子得点	0.55	0.27	0.17

#### 4 今後の課題

今後は、本手法の精度をより向上させる仕組みを取り入れるとともに、処理結果を信頼性と妥当性を検討する必要がある。そのために、以下3つの事項が考えられる。

- 因子得点を考慮した処理を取り入れること  
考察から、因子負荷量による評価だけでは要因を精度良く取り除けない可能性が示唆された。このことから、処理の手順に因子得点の影響を考慮する必要があると考えられる。
- アンケートの設定  
本稿では、疲労と睡眠における評価のみ行った。今後は、内在的要因の評価をより詳細に行うため、信頼性のある感情ならびに気分評定尺度を持って評価する必要がある。
- サンプル数を増やすこと  
サンプル数の不足により、分類の精度が悪いことが考えられる。因子分析の一般的に必要なサンプル数は、観測変数に対して3倍以上といわれている。今回は被験者12名に対して計測データ長が1701であり、因子分析においては満たしていたと考えられる。しかし、k-means法はサンプル数が少ないと、新たな一点が追加された際にクラスが大きく変化してしまうことが予想される。そこで、大量のデータを用いてより信頼性のある評価を行う必要がある。

#### 5 おわりに

本稿では、fNIRS データに対して因子分析を用いて被験者の分類を行い内在的要因を抽出する手法を提案し、その有効性について検討した。

ストルーブテストを用いた実験を、fNIRS 装置を用いて行った。実験結果を本手法により分析し、アンケート結

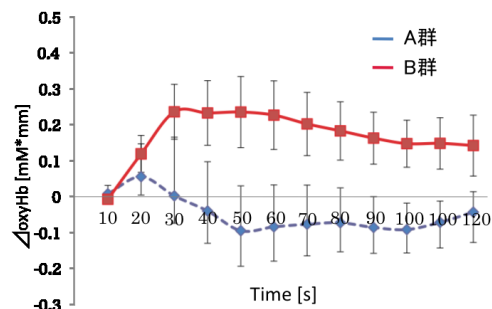


Fig.6 各群の不一致課題中の oxyHb 濃度変化量

果と比較したところ、睡眠度の影響を抽出できた。さらに、睡眠度の高い被験者は低い被験者と比べて脳血流変化量が大きく、これは先行研究結果と一致した。一方、疲労度は抽出することが出来なかった。このことから、本手法を改良して、さらに精度を向上させる必要があることが分かった。

#### 参考文献

- 1) Masashi Suda, Masato Fukuda, Toshimasa Sato, Shinya Iwata, and Mingqiao Song. Subjective feeling of psychological fatigue is related to decreased reactivity in ventrolateral prefrontal cortex. *Brain Research*, Vol. 1252, pp. 152–160, 2008.
- 2) 能典川崎. 多変量時系列に対する主成分・因子分析. 数理統計, Vol. 49, No. 1, pp. 109–131, 2001.
- 3) 伸一伊藤, 靖恵満倉, 稔福見, 則夫赤松. 脳波の個人特性を考慮した脳波分析法の提案. 電気学会, Vol. 124, No. 6, pp. 1259–1266, 2004.
- 4) A-C. Ehlis, M.J. Herrmann, A. Waagenter, and A.J. Fallgatter. Multi-channel near-infrared spectroscopy detects specific inferior-frontal activation during incongruent stroop trials. *Biological Psychology*, pp. 315–331, 2005.
- 5) Jinyan Sun, JiahuanZhai, Ranran Song, Li Zou, and Hui Gong. Reduced prefrontal cortex activation in the color-word stroop task for chinese dyslexic children : a near-infrared spectroscopy study. *Journal of Physics:Conference Series*, Vol. 277, pp. 11–18, 2011.
- 6) Uichi Sugiya, Daisuke Kayukawa, Kenji Furihata, Takesaburo Yanagisawa, and Susumu Kondo. Fusion-dl fluctuation rate of ultrasound by bone conduction for a fatigue indication and its applications. *The institute of electronics, Information and communication engineers, technical report of ieice*, Vol. 103, No. 397, pp. 1–6, 2003.