

## メンタルヘルスケアへの応用を目的とした ニューロフィードバックシステムの開発と評価

日大生産工(院) ○奥村 壮太 日大生産工 柳澤 一機 日大生産工 綱島 均

### 1 まえがき

近年, 非侵襲的な脳機能計測技術の発展に伴い, 使用者の脳活動から意思を読み取り, 体を動かすことなく機械を制御するブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI: Brain computer interface) 技術が医療介護・福祉分野への貢献に期待されている. 特に, BCI 使用者が現在の脳活動状態を視覚・聴覚刺激などを用いて脳活動状態を把握し, トレーニングを通じて脳活動を随意制御する技法であるニューロフィードバック (NFB: Neuro-Feedback) トレーニングが精神疾患や発達障害の治療や支援に注目されている.

人間のストレス反応は前頭前野の左右活動バランスが制御していること<sup>1)</sup>などが報告されている. そのため, NFB トレーニングにより前頭前野の活動を随意制御できれば精神疾患の治療などメンタルヘルスケアへの応用に繋がる可能性がある.

非侵襲的脳機能計測装置を用いた NFB をメンタルヘルスケアに応用した先行研究として, 脳波を用いた方法が提案されている<sup>2)</sup>. しかし, 特定の脳活動部位に注目して脳活動を計測することは, 脳波より空間分解能が高い近赤外分光法 (NIRS: Near-infrared spectroscopy) を使用することが有効であり効率的な NFB トレーニングシステムを実現できる可能性がある<sup>3)</sup>. 柳澤ら<sup>4)</sup>は NIRS を用いた NFB システムとして使用者の脳活動を色の変化で呈示するシステムを開発し, NFB トレーニングを行うことで, 前頭前野の脳活動に変化が生じることを確認した.

しかし, このシステムは視覚呈示する内容が単調であり, 使用者のトレーニングに対する意欲が欠如し持続性が見込まれないことやシステムが大型であることなどの問題がある. その

ため著者ら<sup>5)</sup>は, システムを小型化し使用者のトレーニングに対する意欲を維持するためにゲーム要素を NFB システムに加えたシステムの開発をした.

本研究は, 著者ら<sup>5)</sup>が開発したNFBシステムによるNFBトレーニングを行い, メンタルヘルスケアへの応用の有効性を検証する. そのため, NFB トレーニング前後の前頭前野における活動左右差の変化と主観評価の変化を確認する.

### 2 NIRSを用いたNFBシステム

#### 2. 1 NIRSの原理

NIRSは, 近赤外光を用いて脳血流内のヘモグロビン濃度変化量を測定することで, 間接的に脳活動を非侵襲的に計測する装置である. 脳の神経活動にともない血流量が局所的に変化することで, 血液中のヘモグロビンの濃度が変化する. 生体へ透過性が高い近赤外光(700~900nm)を照射し, その透過光・拡散光から酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン(deoxy-Hb)の濃度変化から計測することが可能である. しかし, NIRSによる計測値は絶対値ではなく基準値からの濃度変化量という相対値であることに注意する必要がある.

#### 2. 2 ストレスと前頭前野機能

酒谷ら<sup>1)</sup>は, 前頭前野の左右活動バランスが, ストレス反応を制御している可能性があることに着目してNIRSを用いて暗算課題を行った際の脳活動変化を測定した. その結果, 心身にストレスを感じた人は右側の前頭前野が左側よりも活動が大きく, 逆にストレスを感じていない人は左側の前頭前野が右側より活動が大きいことを報告している. このような脳活動の左右差を評価する指標としてラテラルインデックス(RLS: Right laterality ratio score)を求めている. (1)式にRLSの計算式を示す. 本研究では, *RoxyHb*は前頭前野右外側部1ch,

---

## Evaluation and Development of Neuro-Feedback System for Application of Mental Health Care

Souta OKUMURA, Kazuki YANAGISAWA and Hitoshi TSUNASHIMA

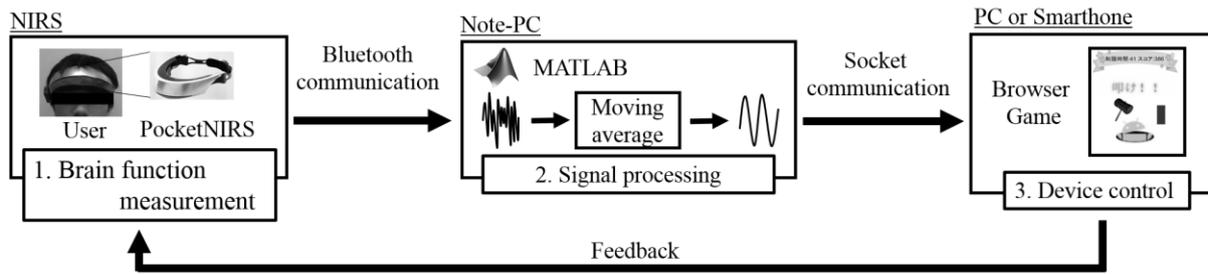


Fig.1 NIRS-NFB system

$LoxyHb$ は前頭前野左外側部2chの測定値を用いる。  $\Delta$ はタスクとレストの差分を表す。

$$RLS = \frac{(R\Delta oxyHb - L\Delta oxyHb)}{(R\Delta oxyHb + L\Delta oxyHb)} \quad (1)$$

RLSが正の値の場合、右前頭前野の活動が優位な傾向を示しストレスに弱い状態だと考えられる。逆にRLSが負の値の場合、左前頭前野の活動が優位な傾向を示しストレスに強い状態だと考えられる。

また、同様の方法により暗算課題により右前頭前野が優位に活動する女性はストレスによるいきびがでやすい可能性があり<sup>6)</sup>、このような日常レベルの心身ストレスをリラクゼーション効果のある香りを長期使用することでストレスに強い左前頭前野優位の脳に改善できる可能性も報告している<sup>7)</sup>。

### 2. 3 従来のNFBシステムの開発事例

NFBにおける脳活動情報の呈示方法は視覚刺激によるものが中心であり、先行研究として、柳澤ら<sup>4)</sup>の脳活動変化を色の変化で表すシステムなどがある。しかし、これらのシステムは視覚呈示する内容が単調で大型であるためNFBトレーニングへのモチベーション維持が困難な可能性がある。そのため、著者ら<sup>5)</sup>はゲーム性を持たせトレーニングへのモチベーションの維持ができるNFBシステムの開発した。

## 3 NIRS-NFBシステムの構成

### 3. 1 NFBシステムの概要

本研究で開発したNIRS-NFBシステムを図1に示す。本システムは、脳機能計測部、信号処理、機器制御部の3構成で構成される。脳機能計測部において、NIRSを用いて計測した信号をリアルタイムに信号処理し、信号に含まれるノイズ除去などの解析を行い、脳活動情報を抽出して、機器制御を行うための脳活動レベルの判定を行う。そして、機器制御部で判定した結果に応じてゲームキャラクターを操作する。

### 3. 2 脳機能計測部

脳機能計測部では、使用者の脳活動をNIRS装置により計測する。計測に用いるNIRS装置は、前額部を測定するための2本のプローブをヘッドマウントホルダーに搭載した携帯型近赤外組織酸素モニタ装置 PocketNIRS HM(DynaSense社製)を用いて計測した。

計測したNIRS信号(サンプリング周波数4Hz)は、Bluetoothにてデータ解析用PCの専用計測ソフトに転送され、仮想ポートを利用して作成した特徴抽出・認識部へと転送される。

### 3. 3 信号処理

信号処理では、NIRSにより計測されたNIRS信号に含まれる脳活動と無関係な変動のノイズを除去するために脳活動に関係した情報を抽出する。本研究では、数値計算ソフトであるMATLABを用いて計測したNIRS信号に移動平均によるノイズ除去を行い脳活動情報とした。さらに、解析した脳活動情報の平均値から閾値を設定し、現在の計測値と比較することで脳活動レベルの判定を行った。移動平均点数を11点、閾値のための平均値を求める区間の点数は50点として設定した。

### 3. 4 機器制御部

機器制御部では、脳活動レベルの判定結果をもとにゲームの制御を行う。ゲーム内容は、ゲーム上の金槌を制御して、ゲーム内のキャラクターを叩くもぐらたたきとした。金槌の制御は脳活動レベルの判定結果から動作可能であり、使用者のoxy-Hbが高い値ほど脳活動レベルが高いと判定し金槌を振り、キャラクター出現時に叩くとスコアが加点され、キャラクター出現しない時に叩くとスコアが減点される。oxy-Hbが低い値ほど脳活動レベルが低いと判定し金槌を振らないように設定した。

また、現在の脳活動状態を分かりやすくするためにゲーム内に使用者の脳活動状態により変化するカラーバーを画面上に設置した。

## 4 NIRS-NFBシステム検証実験

### 4. 1 NFBトレーニング実験

本研究では、開発したNIRS-NFBシステムを用いて20代の男性8名を対象に5日間のNFBトレーニングを行った。Pocket-NIRSを実験参加者の前頭前野両外側部に取り付け、左外側部(2ch)にて計測したoxy-Hb信号をフィードバック情報としてゲームに送信し操作した。NFBトレーニング時間は200sとし、レスト20s、タスク20sを1試行として5試行繰り返し、1日に2回NFBトレーニングを行った。タスク中は意識を集中してキャラクターを叩いてもらい、レスト中は、リラックスしてキャラクターを叩かないようにして、5日間のトレーニングを通して高得点を目指してもらうように教示した。ただし、課題開始1試行目は練習試行としたためゲームスコアの加点は2試行目からとした。また、ゲーム操作の感覚をつかんでもらうために実験前に練習を行った。

本実験は、日本大学生産工学部倫理委員会(承認番号：S2014-016)の承認を得て実験を行った。

### 4. 2 認知記憶課題を用いた実験

NFBトレーニングの効果の検討を行うためにワーキングメモリ(WM: Working Memory)課題とノンワーキングメモリ(NWM: Non Working Memory)課題の2種類の課題を行った。WM課題では、異なる色と形の図形を3秒おきに連続してコンピュータ画面に表示して記憶させ、その後8個の図形を表示した画面から、呈示された順番どおりに図形を指で選択してもらうように教示した。NWM課題では、8個の図形を表示した画面上から、同じ画面の上部枠内に示した配置の順番どおりに図形を指で選択してもらうように教示した。

WM課題とNWM課題を合わせたものを1試行として、これを6回繰り返し行った<sup>8)</sup>。

### 4. 3 評価方法

NFBトレーニング前後における脳活動状態をNIRS信号から評価し、同時にトレーニング前後におけるゲームスコアを確認する。ストレス状態の変化を評価する方法としては、脳の活動左右差を示すRLS指標を用いる。

また、トレーニング前後における気分・感情状態の変化を確認するために、メンタルヘルスクエアに使用される質問紙であるPOMS(Profile of Mood States)を用いる。POMSは「緊張不安」、「抑うつ」、「怒り」、「活気」、「疲労」、「混乱」の6つの因子を同時に計測することで総合的な気分状態の指標となるTMD (Total-Mood-Disturbance) 得点が求められる。TMD得点は

得点が高いほど不安定な気分・感情状態を表す。今回はTMD得点を用いてNFBトレーニング前後による気分・感情状態の計測を行う。

## 5 実験結果

実験参加者 8 名のうちトレーニング効果が顕著であった1名のNFBトレーニング前後における左前頭前野のNIRS信号の波形を図2に示す。

図2(a)より、トレーニング前はレスト時とタスク時においてoxy-Hbの変動が少なく、ゲーム操作が困難であった。しかし図2(b)より、トレーニング後ではトレーニング前と比べてoxy-Hbの変動が大きく、タスク時にはoxy-Hbの上昇する傾向が見られた。そして、実験後における口答の質問に対してもトレーニング前と比べてゲームを意思どおり操作できるようになることを確認し、ゲームのスコアにおいてもトレーニング前は665点であったがトレーニング後は861点に向上することを確認した。

図3にNFBトレーニング前後におけるWM課題のRLSを示す。トレーニング前後でRLSを比べると減少していることを確認した。このことから、左前頭前野優位の傾向に向かうことが確認でき、NFBトレーニングによりストレスに強い脳へと変化する可能性がある。

また、図4にNFBトレーニング前後におけるTMD得点の結果を示す。図4より、NFBトレーニングを行うことでTMD得点がトレーニング前よりも低下しており、気分・感情状態の改善を確認した。

実験参加者8名中2名においてはトレーニング前からRLSが負の値を示したことからトレーニングによる変化を確認することができなかったが、トレーニング前でRLSが正であった6名中4名においては同様の傾向を確認した。異なる傾向を示した2名においては、NFBトレーニングによる効果が希薄であったことや5日間連日のトレーニングによる疲れにより同様の効果を確認することができなかった。そのため、トレーニング期間を延ばすことやトレーニング期間に間隔を設けることで効果を確認することができると思われる。

## 6 結言

本研究は、健常者8名を対象に開発したNFBシステムを用いたNFBトレーニングを行い、トレーニング前後の前頭前野における活動左

右差の変化と主観評価の変化からメンタルヘルスケアへの有効性を検証した。

その結果、NFB トレーニング前から RLS が正の値を示した 8 名中 6 名のうち 4 名において NFB トレーニング前後で NIRS 信号の変動に変化を生じ、ゲームスコアの上昇も確認した。そして、RLS を用いてトレーニング前後における脳活動変化を比較したところ、トレーニングを行うことで減少することを確認したことからストレスに強い脳へと変わる可能性を確認した。また、POMS を用いた主観評価においてもトレーニングを行ったことで気分・感情状態が改善する傾向を確認した。

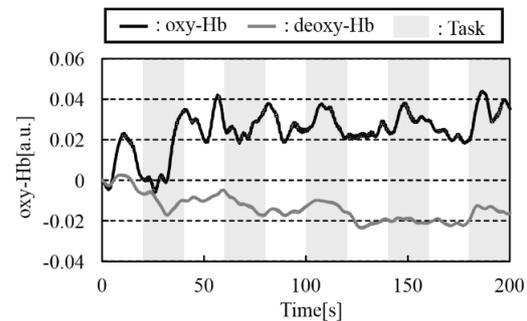
同様の傾向を確認できなかった 2 名においてはトレーニング期間を延ばすことやトレーニング期間に間隔を設けることで効果が確認できると考える。

以上のことから、NFB トレーニングを行うことでストレス耐性の強い脳活動へ変える可能性を示唆した。

「参考文献」

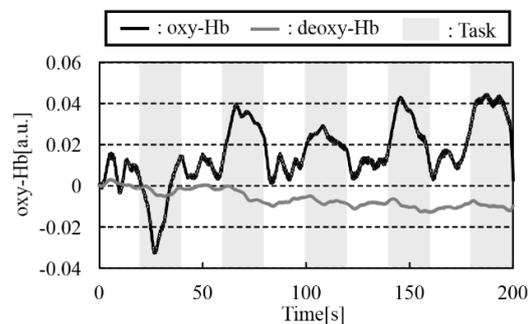
- 1) 酒谷 薫, NIRS-基礎と臨床-, (2012) 新興医学出版社
- 2) Mirjam E.j. Kouijer et al, Neurofeedback improves executive functioning in children with autism spectrum disorders, Research in Autism Spectrum Disorders, Vol.3, Issue 1, (2009) pp.145-162
- 3) 加納慎一郎, Brain-Computer Interface (BCI) におけるバイオフィードバック, バイオフィードバック研究, Vol.36, No.2, (2009) pp.127-133
- 4) 柳澤 一機, 綱島 均, 酒谷 薫, 前頭前野を対象としたニューロフィードバックトレーニングにおけるNIRS信号手法の提案, 人間工学会, Vol.51, (2015) pp.42-51
- 5) 奥村 壮太, 柳澤 一機, 綱島 均, メンタルヘルスケアを目的とした小型ニューロフィードバックシステムの評価, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2016 論文集, (2016) pp.779-782
- 6) Masahiro Tanida et al, Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions, A near-infrared spectroscopy study, Cog Brain Research, Vol.1184, (2007) pp.210-216
- 7) Masahiro Tanida et al, Effects of fragrance administration on stress-induced prefrontal cortex activity and sebum secretion in the facial skin, Neuroscience Letters, Vol.432, (2008), pp.157-161
- 8) Naoko Narita et al, "Impaired prefrontal cortical reponse by switching stimuli in autism spectrum

disorders", Journal of Pediatric Neurology, Vol.10, No.2, (2012), pp.87-94



Game Score:665

(a) NIRS signal before NFB training (Left lateral portion of prefrontal area)



Game Score:861

(b) NIRS signal after NFB training (Left lateral portion of prefrontal area)

Fig.2 Changes of brain activity by NFB training

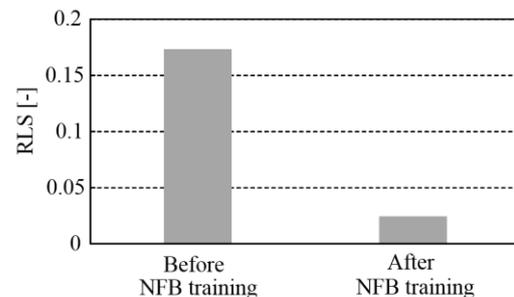


Fig.3 Result of RLS in NFB training

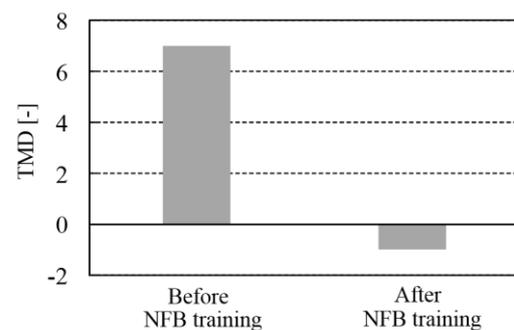


Fig.4 POMS data in NFB training