

シリアスゲームを利用した小型ニューロフィードバックシステムの開発

日大生産工 (院) ○柳沢 一機 日大生産工 綱島 均
日大生産工 (院) 大竹 駿希 日大生産工 古市 昌一

1. 緒言

近年、脳と機械やコンピュータを直接つなぐインタフェース技術である BCI (Brain-Computer Interface) の研究が盛んに行われている。脳活動から、使用者の意図を読み取り、体を動かすことなく機器を操作することが可能になれば、筋萎縮性側索硬化症 (ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis) などにより、体を動かさない患者の意思伝達手段¹⁾や片麻痺患者を対象としたリハビリテーション²⁾など医療分野を中心に幅広い応用が期待できる。

そのなかでも、BCI 使用者の脳活動情報を視覚刺激など知覚できるように呈示することで、訓練を通じて脳活動の随意制御を可能にする技術であるニューロフィードバック (Neurofeedback 以下 NF と記す。) が注目されている。脳機能イメージング技術の発展に伴い、脳機能イメージングの精神疾患への臨床応用が検討されており、精神疾患における前頭葉機能の低下が報告されている³⁾。NF トレーニングにより、前頭葉の脳活動を随意制御することが可能になれば、精神疾患の予防や治療に応用できる可能性がある。

先行研究としては、fMRI を用いた NF によって、画像を見たときの感情をコントロールすることが可能になったという報告がある⁴⁾が、fMRI は測定装置が非常に大型であり、精神疾患の治療への応用を行うには、より簡易な脳活動計測・フィードバック方法が必要になる。簡易に脳活動を計測できる方法としては、脳波や近赤外分光法 (NIRS: Near Infrared Spectroscopy) が挙げられる。先行研究では、加納ら⁵⁾は脳波と NIRS を用いて、NF トレーニングを行い、その結果を比較している。様々な周波数成分の変動が含まれている脳波より、脳血流の変動を計測している NIRS の方がフィードバックする周波数帯域を選択することが容易であることが報告されている。また、福長ら⁶⁾は、NIRS を用いたリアルタイム NF システムの検討を行っており、NF による賦活部位の局在化に注目し、局在化した部位の脳活動情報をフィードバックするシステムを開発した。

しかし、現在行われている NF システムの問題点として、様々な脳活動情報の提示方法が検討されて

いるが、その多くが単調なものであり、使用者が長期間のトレーニングに対して、モチベーションを保てないことが指摘されている。また、計測プローブの取り付けが煩雑なマルチチャンネルの大型 NIRS を用いた検討がほとんどであり、より簡易に使用者の負担が少なく NF トレーニングを行えるシステムが必要である。

本研究では、小型の NIRS に注目し、脳活動情報の呈示方法として、コンピュータゲームを教育・訓練などに活用するシリアスゲームを利用した NF システムの開発を行う。まず、マルチチャンネルの NIRS を用いて、前頭葉を対象とした NF トレーニングを行い、活動部位の局在化について検討する。さらに、トレーニングによって局在化した部位に注目し、小型の NIRS を用いてシリアスゲームの要素を取り入れた NF システムの開発を行う。

2. 従来の NF システムとその問題点

NF における脳活動情報の呈示方法は、視覚刺激を用いたものが中心であるが、その呈示方法には様々な方法がある。例えば、加納ら⁵⁾の研究では、脳血流の変化をディスプレイ上のバーの変化により呈示している。福長ら⁶⁾は、車速度計のようなメータ表示により、脳活動をフィードバックするシステムを開発している。これらのシステムは、ユーザがこの画面を見ることによって自分の脳の活動状態を知り、脳活動の随意制御を図ることを特長としていた。しかし、これらの NF トレーニングは、刺激の提示方法が単調であるために使用者がトレーニングに対する精神的な倦怠感を覚え、モチベーションの持続性に問題があった。

また、ほとんどの NF システムは、マルチチャンネルの NIRS を用いており、fMRI などと比較すると、簡易に脳活動の計測を行うことができるが、装置の装着が煩雑で長時間の計測は、使用者の負担になるという問題がある。さらに、測定したすべてのチャンネルの情報をそのままフィードバックしても、情報量が多く、使用者が容易に、かつ有効にその情報を利用することが難しい。そのため、特定のチャンネルに注目し、その情報のみをフィードバックしているという問題がある。

Development of portable Neurofeedback system using Serious Game

Kazuki YANAGISAWA, Hitoshi TSUNASHIMA Toshiki OTAKE and Masakazu FURUICHI

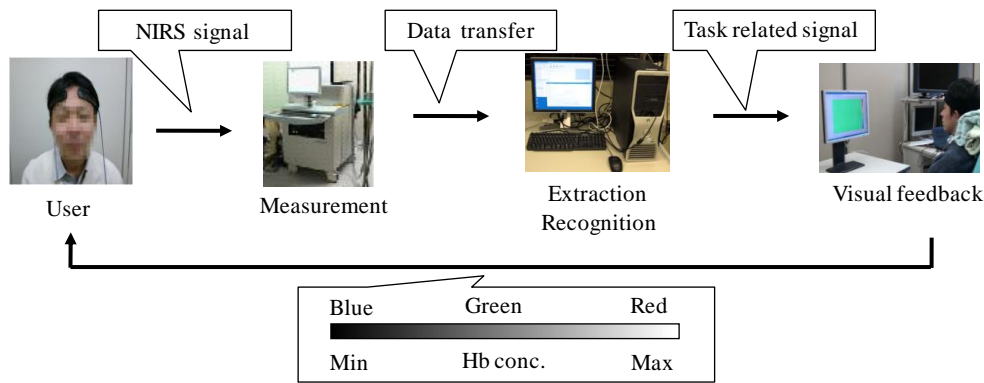


Fig.1 NIRS-NF system

3. 脳活動の局在化の検討

3.1. NIRS-NF システム

まず、マルチチャンネルの NIRS を用いて、NF トレーニングを行い、活動部位の局在化について検討を行なった。活動部位が局在化により、フィードバック情報を作成する部位を、事前に決定することができれば、小型 NIRS を用いてその部位を計測することで、より簡易で使用者の負担の少ない NF システムを開発することができる。

実験に使用した NIRS-NF システムを図 1 に示す。脳活動測定装置は島津製作所製、近赤外光イメージング装置 OMM-3000 を用いた。

この OMM-3000 によって計測された oxy-Hb 信号を PC に転送し、リアルタイムに離散ウェーブレット変換による多重解像度解析を行い、課題に関連した変動を抽出する。測定装置のノイズや心拍変動や呼吸による影響、Mayer wave などを取り除くために、28 - 450s 周期の変動を課題に関連する変動として、信号を再構成する⁷⁾。

次に再構成後の信号から、脳の活動状態を色の変化として、ディスプレイに呈示する。バーや車速度計のような表示の場合、実験中に使用者の頭部が動いてしまい、アーチファクトの原因になることが考えられるため、本研究では、脳活動の提示方法として、色の変化を用いた。

すべてのチャンネルの中から、課題に関連した変動が顕著なチャンネルを 1 チャンネル選択し、そのチャンネルの oxy-Hb 情報を提示する。測定開始時の oxy-Hb の値を緑色とし、oxy-Hb が上昇するほど濃い赤色、oxy-Hb が下降するほど濃い青色に変化するように設定し、呈示される色は 65 段階で変化するようにした。ディスプレイは 0.5s ごと更新され、使用者はこの色の変化から自身の脳活動の状態を把握させることができる。

3.2. 実験方法

実験参加者は、20 代の男女 14 名とし、事前にインフォームドコンセントを行い、実験参加者の安全

と人権保護に十分配慮した。

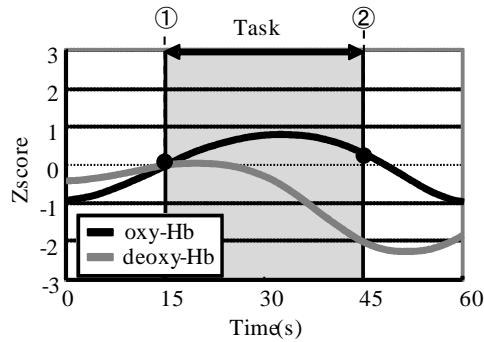
実験参加者はタスク中に画面の色を赤にするイメージの想起を行った。実験参加者に呈示する色の画面の色は oxy-Hb の増減に対応した色に変化させた。

前レスト 15 秒、タスク 30 秒、後レスト 15 秒を 1 試行とし、6 試行繰り返し行った。レスト中は閉眼し安静にするよう教示した。これを 1 日に 2 回行い、計 7 日間の実験を行った。前頭葉を全 42 チャンネル計測し、初日の計測時にフィードバックするチャンネルを決定し、7 日間同一のチャンネルからフィードバック画像を作成した。

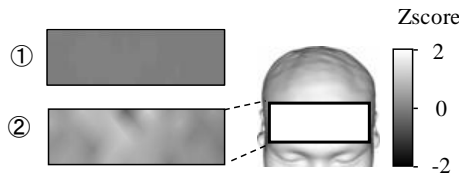
3.3. 標準得点化による評価

NIRS は、その原理上測定値が相対値であるため、全実験参加者の結果から、一般的な傾向を評価することが難しい。そこで本研究では、oxy-Hb 信号を平均が 0、標準偏差が 1 になるように標準得点化し加算平均を求めることで、一般的な傾向を評価した⁷⁾。標準得点化による加算平均では、実験参加者ごとに頭部の大きさが異なるため、測定したチャンネルは厳密に同じ部位にはならないが、加算平均することで、課題による一般的な脳活動を知ることができる。

トレーニング期間中に良好な計測を行うことができなかつた実験参加者 2 名を除外し、実験参加者 12 名について、標準得点化による加算平均を行なった。図 3 に NF トレーニング初日、図 4 にトレーニング 7 日後の脳活動の結果を示す。図 3(a)より、トレーニング初日では、タスクに関連した oxy-Hb の変動は確認できない。また、図 3 (b) の脳機能画像からも前頭葉全体で関連した活動は確認できなかった。しかし、図 4 (a) より、NF トレーニングでは、タスクに関連した oxy-Hb が確認でき、図 4 (b) の脳機能画像から前頭葉両外側部に活動部位が局在化していることが確認することができる。この結果は、一般的な傾向としても NF トレーニングによって、活動部位が前頭葉両外側部に局在化することを示している。

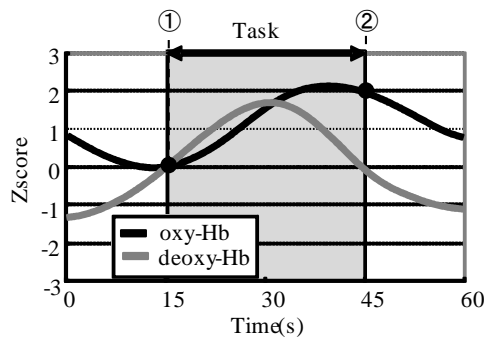


(a) Averaged NIRS signal (Right DLPFC)

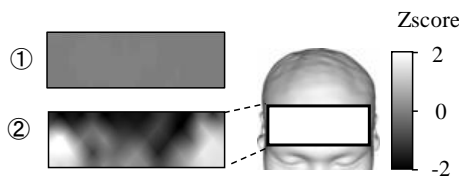


(b) Functional brain imaging

Fig.3 Brain activity before NF training for 12 participants



(a) Averaged NIRS signal (Right DLPFC)



(b) Functional brain imaging

Fig.4 Brain activity after NF training for 12 participants

この結果は、チャンネル数の少ない小型のNIRSを用いて、前頭葉両外側部を計測し、その活動情報をフィードバックすることで、従来のマルチチャンネルNIRSを用いたフィードバックシステムと同様のトレーニングを行える可能性を示している。

4. シリアスゲームを利用したNFシステム

4.1. 開発方針

次に、NFにおける脳活動情報の呈示方法について検討する。上述した脳活動情報の提示方法の問題点は、使用者に対するフィードバック内容の単調性

に起因すると考えられる。その解決法として、モチベーションの持続に効果があるゲームの要素をフィードバック部分に導入することが有効であると考えられる。一般的に、人がゲームを行う目的は空想世界の探求、日常生活では実施できないことの体験等であり、使用者が繰り返し実施したいという欲求を満たすための工夫（ゲーム性）が重要である。そこで、この要素をNFトレーニングシステムへ導入したシステムの開発を行なった。

4.2. システム構成

新しく開発したNFシステムでは、使用者が、様々な種類のシリアスゲームを用いてNFトレーニングを行うことができる。また、トレーニングを実施する度に、自分及び他の使用者のスコアが表示され、自己スコアの向上を目的としたモチベーションの持続が可能である。

これらを実現するため、ユーザインタフェースとなるシリアスゲームはプログラムとしての独立性を高める必要があり、BCIのインタフェース側とシリアスゲーム側とは、ソケット通信により実現する。開発したNFトレーニングシステムの構成図を図5に示す。

脳活動計測装置には、前頭部を2チャンネル計測することができる小型NIRS（携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置 PocketNIRS, DynaSense 製）を用いた。計測できるチャンネルは少ないが、取り付けが非常に簡易であり、長期間の脳活動計測を行う場合でも、使用者にかかる負担が非常に少ない。

小型NIRSによって計測されて信号は、解析・制御用PCに転送される。転送されたNIRS信号はMATLABを用いて、リアルタイムに解析され、その結果をソケット通信によってシリアスゲーム側に送信する。シリアスゲーム側ではこの信号を入力としてゲームの制御を行う。ソケット通信でBCIとシリアスゲーム間を連携させるため、通信インタフェースを備えた既存のゲームと連携させるのが容易であり、様々な種類のゲームをトレーニングで用いることが、効率良く実現可能である。

4.3. 評価実験結果

本研究で提案した方法の有効性を確認するために、シリアスゲームを利用したNFシステムを試作した。本システムは、使用者がBCIにより熱気球を上下させることによって画面上を右方向から次々飛来するカラスを避け、与えられた時間内にカラスと衝突した回数がスコアとして得られるシリアスゲームで、Flashにより新たに開発した。スコアを上げることがインセンティブとなってモチベーションを持続させることが特長である。同じインタフェースを利用することにより、Flash以外の言語で作成する多種多様なシリアスゲームと連携する

ことが可能である。

画面表示例と実験の様子を図 6 に示す。図 6 に示すように、ゲームを制御するための画面と、脳の血流変化の時系列変化を示すグラフを重畳表示する。使用者は時系列変化から自身の脳活動状態を知覚し、操作する熱気球を上下させることができることを確認した。

5. 結言

本研究では、使用者が長期間の NF トレーニングにおいても、モチベーションを低下させずにトレーニングを行うことが可能な NF システムの開発を行った。小型の NIRS に注目し、脳活動情報の呈示方法として、コンピュータゲームを教育・訓練などに活用するシリアスゲームを利用した NF システムの開発した。

まず、マルチチャンネルの NIRS を用いて、前頭葉を対象とした NF トレーニングを行い、活動部位の局在化について検討した。その結果、NF トレーニングにより、前頭葉両外側部にて脳活動の局在化を確認した。

さらに、トレーニングによって局在化した前頭葉両外側部に注目し、小型の NIRS を用いてシリアスゲームの要素を取り入れた NF システムの開発を行った。開発した NF システムを試用した結果、脳活動情報に基づいて、ゲーム上のキャラクターを操作することが可能であることを確認した。

今後は、開発したシステムを用いた NF トレーニングを実施し、ゲームスコアと脳活動の変化を評価する予定である。

「参考文献」

- 1) M. Naito, Y. Michioka, K. Ozawa, Y. Ito, M. Kiguchi, T. Kanazawa: A Communication Means for Totally Locked-in ALS Patients Based on Changes in Cerebral Blood Volume Measured with Near-Infrared Light, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E90-D, No.7, pp. 1028-1037, 2007.
- 2) G. Pfurtscheller, C. Guger, G. Müller, G. Krausz, C. Neuper: Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic, Neuroscience Letters, Vol.292, No.3, pp. 211-214, 2000.
- 3) 福田正人: 専門医のための精神科臨床リユミエール 2 精神疾患と脳画像, 中山書店, 2008.
- 4) Johnston SJ., Boehm SG., Healy D., Goebel R., Linden DE.: Neurofeedback : A promising tool for the self-regulation of emotion networks, NeuroImage, Vol.49, pp.1066-1072, (2010).

- 5) 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, pp.127-133, 2009.
- 6) 福長一義, 大貫雅也, 福井裕輝, 舟久保昭夫, 福井康裕, 中島章夫, 嶋津秀昭, 石山陽事, 大瀧純一: NIRS を用いたニューロフィードバックシステムの開発, 杏林医学会雑誌, Vol.42, No.1, pp. 2-11, 2011.
- 7) H. Tsunashima, K. Yanagisawa, M. Iwade: Measurement of Brain Function Using Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), Neuroimaging - methods (Intech), pp. 75-98, 2012.

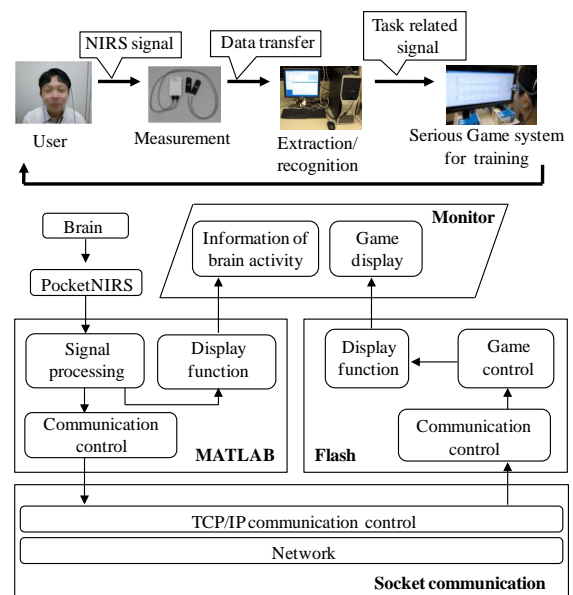


Fig.5 Proposed NIRS-NF system

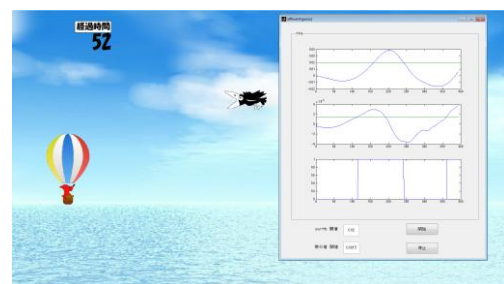


Fig. 6 Experiment scene of NF training