

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560430

研究課題名(和文)ニューロフィードバックを利用した直接伝送型脳波コミュニケーションの実現

研究課題名(英文)EEG Communication between Two using Neurofeedback Training

研究代表者

飯塚 博幸 (Iizuka, Hiroyuki)

北海道大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：30396832

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：通常、ニューロフィードバックは自分の脳波を観察することによって行われるが、本研究では、計測された脳波を直接伝送し、2者の間においてニューロフィードバックを行う実験を行った。フィードバックする脳波は、波帯域のパワーを視覚刺激で表示する方法を用いた。結果として、この相互の脳波を伝え合うコミュニケーション状態を利用し、双方の波を高める訓練が成功した。2者間でのコミュニケーション型ニューロフィードバックで訓練をした場合には、その後、1者でニューロフィードバックを行ってもその効果が継続していることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Neurofeedback Training (NFT) is a training to regulate brain activities with visual or sound feedback of their own brain activities to subjects. This study extends the conventional NFT to bilateral NFT between two where the brain waves are communicated directly and used as the feedback. In the experiments, the powers of alpha waves of EEG are displayed as a visual feedback. Our results show that alpha power of subjects' EEG can be enhanced in the bilateral NFT and that the subjects who can successfully enhance the alpha power is also able to regulate the alpha in the conventional individual NFT.

研究分野：人間情報工学

キーワード：ニューロフィードバック コミュニケーション 脳波

1. 研究開始当初の背景

脳活動を用いたコミュニケーションと言え、脳波からデコードされた情報を使い、機器やロボットを動かす BMI がある (e.g. Wolpaw et al., 2000). この場合のユーザと機械間のコミュニケーションは、機械がユーザの脳波を計測し、あらかじめ機能を割り当てられたパターンと照合することで、ユーザの意図を検出し、その意図に対応する機能を実行する。この方法の延長で、人同士のコミュニケーションへと応用する研究では、機械によってデコードされた意図を他方の人に視覚的に提示する方法が試みられている。また、直接言語をつかさどる部位の脳活動を計測することによって文字単位のデコードも試みられているものの、精度の高い脳活動を計測するのに侵襲的な電極が必要不可欠であることや、大掛かりな装置を必要とすること、得られたデータからの意図の推定の難しさの観点からも非常に困難である。

2. 研究の目的

そこで、本研究では脳波をデコードするのではなく、脳波を直接やりとりするコミュニケーションを目指し、脳波を用いた相互作用を人と人の間に成立させる。

脳波コミュニケーションに実現むけて、ここではニューロフィードバックトレーニングの手法を用いる。ニューロフィードバックトレーニングは、脳活動を視覚的・聴覚的に被験者にフィードバックを行い、随意にコントロールすることのできない脳波を望ましい状態へとコントロールする、訓練法である。フィードバックする脳活動は一般的には脳波における 8~13Hz の波をはじめとする周波数帯域で、訓練を通してフィードバックした周波数帯域の増強が可能となる。周波数帯域の増強を達成した被験者はてんかんや注意欠陥障害の症状の改善、短期記憶力の向上などの効果が得られることがわかっている。

このニューロフィードバックトレーニングは、通常、自分の脳波を可視化や可聴化し、自分自身にフィードバックすることによって行われるが、これを 2 者間で成立させることによって脳波を用いたコミュニケーションを実現させる。

ニューロフィードバックトレーニングで訓練効果を得るためには、フィードバックループとリアルタイム性が必要である。フィードバックループとは、被験者へのフィードバック刺激と脳活動には相関がある。刺激によって被験者は内的(心的)状態を変化させ、それが脳活動の変化をもたらす。そしてそれがまた内的状態を変化させるフィードバック刺激を変化させる。当然だがランダムな視覚刺激や自分とは関係のない他人の脳活動では効果が得られない。リアルタイム性とは、脳活動の測定と視覚刺激の提示が一定時間内に行われることである。つまり、これはリ

アルタイム性を保持し、フィードバックループさえ形成すれば、従来の個人のニューロフィードバックではなく、複数者間へのニューロフィードバックへと拡張が可能であることを示している。このことから、従来の個人ニューロフィードバックトレーニングを拡張し、脳波をやりとりする 2 者間フィードバックトレーニングを実現することで、脳波コミュニケーションを実現する。

2 者の人が相互作用するときには 1 者のときと比べ、自明ではない現象が起こりうる。例えば、Reed(2006)らは回転テーブルに取っ手をつけ、回転テーブル上に光で示された目標地点まで被験者が回転させる実験を行った。実験は 1 人、または、2 人で行った。実験結果は、1 人で行うよりも、2 人で行った方がやりにくいと感じたが、早く目標地点に到達できた。Kawasaki(2013)らは 2 者の行動が同期したとき、脳波の同期と波と波が増強されることを示した。ニューロフィードバックトレーニングでは周波数帯の増強を随意的に達成するので、訓練時 2 者の行動同期が訓練の助けになる可能性が高い。よって 2 者でニューロフィードバックトレーニングを行っても一定の効果が得られることが期待できる。

3. 研究の方法

本研究での訓練は被験者を 2 人 1 組のペアにし、脳波同時測定によるニューロフィードバックトレーニングを行う。訓練では、それぞれの被験者は相手の脳波のフィードバックを視覚刺激として提示される(図 1)。提案手法において、フィードバックループは他者を介しているものの保持しており、リアルタイム性についても人の視覚刺激に対する反応速度にもよるが同時に保持しており、ニューロフィードバックトレーニングの効果が得られる条件を満たしているといえる。なお、先行研究では fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging : 機能的磁気共鳴画像) による脳活動測定のニューロフィードバックトレーニングで 6 秒遅れで視覚刺激を提示し、訓練効果が得られた (Shibata et al., 2008)。

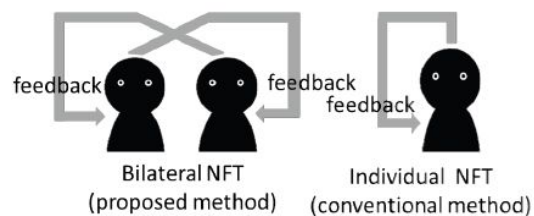


図 1 2 者間ニューロフィードバックトレーニングと従来の個人ニューロフィードバックトレーニング

本研究での訓練は1セッションあたり計5分間フィードバックを行う。60秒間の訓練を1トライアルとし、1セッションに5回のトライアルを行う。それぞれトライアルには10秒の休憩をはさむ。この訓練時間は先行研究において(Nan et al., 2012), 波の増強が認められた訓練時間とほぼ同一で、波の増強に充分であると判断した。

本研究では図2に示す視覚刺激をフィードバックとして訓練を行う。視覚刺激は0.5秒ごとに更新される棒グラフである。棒グラフは直近2秒間の脳波データのうち8~13Hzの波と呼ばれる周波数帯(Alpha Band Amplitude)を0.5~30Hzの脳波全体(EEG Amplitude)で割った、波の相対的なパワーを示す。

$$p = \frac{\text{Alpha Band Amplitude}}{\text{EEG Amplitude}}$$

ここで計算した p をフィードバック値とする。視覚刺激は現在のトライアル数(Trial)と休憩時に残りの休憩時間(Interval)をカウントダウン方式で表示する。セッション内の休憩時、実際には棒グラフは表示されない。フィードバック表示画面における罫線は、訓練時の参考のために等間隔に設置した。

脳波の計測には BIOPAC Systems 社の MP150(図3, 以下 MP150)を用いた。Emoviv 社の EPOC も使用したが結果が安定しなかったため、MP150 を最終的に使用した。サンプリング周波数は 200Hz である。電源はバッテリーから確保し、有線で通信を行う。参照電極は両耳、グランド電極は前額部、測定電極は

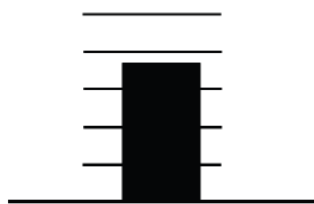


図2 フィードバックに用いた視覚刺激の例

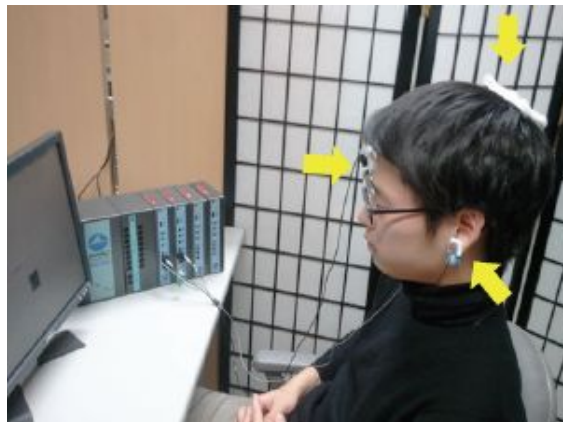


図3 計測装置 MP150 と電極装着

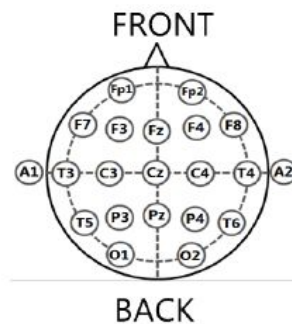


図4 国際 10/20 法

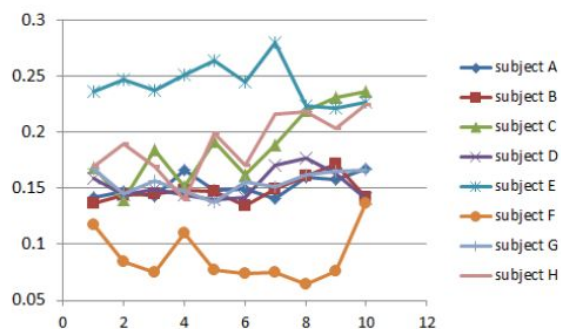


図5 セッション毎の 波の変化

国際 10/20 法(モンリオール法・ジャスパー法)における Cz に統一した(図4)。国際 10/20 法は脳波を測定する際の標準電極配置として国際脳波学会が推奨している方法である。この方法は被験者の鼻根から後頭結節の間と左右両耳介前点の間を計測し、10%、または、20% で均等間隔に分割し、電極を配置する位置を決定する。測定毎に国際 10/20 法で電極配置を決定することで被験者や計測の連続性に依存せず条件の統一が可能である。

被験者は健康、かつ、過去に大きな手術や疾患のないものを募集し、謝金を支払った上で実験を行った。被験者は各ペアになり、2者で行うニューロフィードバックトレーニング条件、もしくは、従来の1者による個人ニューロフィードバックトレーニングのどちらかを行い、両条件を比較した。被験者はいずれもニューロフィードバックトレーニングの経験はない。被験者には事前に実験手順は知らされているが、フィードバックの内容(相手のフィードバックであること、波のフィードバックであること)は知らせていない。

4. 研究成果

ペアの被験者は2者間ニューロフィードバックトレーニングを10セッション行った。実験は3日間行い、1日あたり3、もしくは、4セッション訓練をした。図5は2者間ニュー

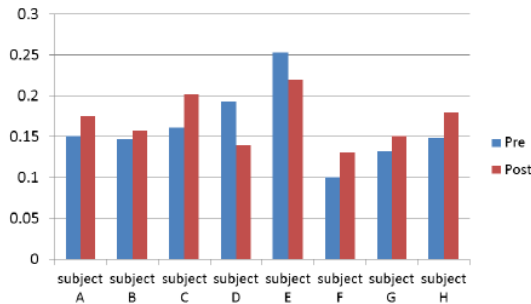


図6 2者のニューロフィードバックトレーニング実験の前後に行った1者ニューロフィードバックトレーニングの効果比較

ニューロフィードバックトレーニングを行ったセッションごとの、波の平均を示している各被験者ごとに線形近似による、セッションあたりの波の増減を計算すると、被験者A=1.94 × 10⁻³、被験者B=1.86 × 10⁻³、被験者C=9.17 × 10⁻³、被験者D=1.10 × 10⁻³、被験者E=-1.59 × 10⁻³、被験者F=-0.33 × 10⁻³、被験者G=1.14 × 10⁻³、被験者H=6.28 × 10⁻³であった。ペア(E,F)のみが2人とも負になり、波の増強が達成されなかったが他の3組ではどちらの被験者とも波の増強を達成できた。

このニューロフィードバックトレーニングによる効果が、コミュニケーション状態である相互に脳波情報を与え合う2者のときのみ得られるのか、それとも、2者で訓練した後に1者で行った場合にもその訓練効果が得られるのかを検証するために、10セッションの2者間ニューロフィードバックトレーニングの前後に1者のニューロフィードバックトレーニングを実施した。

図6は提案手法の前に行った1者ニューロフィードバックトレーニングを事前、後に行ったものを事後として、被験者ごとの比較を示した。被験者の事前と事後の改善比率は被験者A=1.16、被験者B=1.06、被験者C=1.26、被験者D=0.72、被験者E=0.87、被験者F=1.31、被験者G=1.14、被験者H=1.21であった。ここで1を越したものは事前より事後が大きいため1者ニューロフィードバックトレーニングで波の増強が達成できている。2者間ニューロフィードバックトレーニングで波の増強ができた6人の被験者のうち5人は1者ニューロフィードバックトレーニングでも波の増強を達成した。1者ニューロフィードバックトレーニングで波が増強できなかった被験者Dは、2者間ニューロフィードバックトレーニングで波を増強できた被験者の中で、1番増加率が低い被験者である。2者間ニューロフィードバックトレーニングで波の増加ができなかったペア(E,F)では、被験者Eは波の増強できなかったが、被験者Fは増強できた。ここでの実験結果では2者で行ったニューロフィードバ

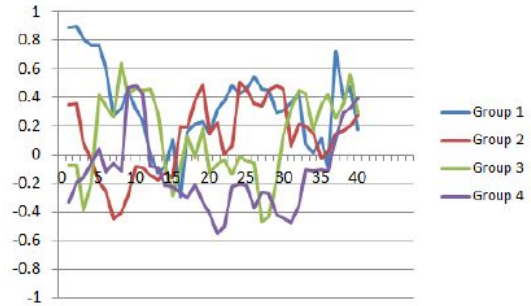


図7 各トライアル毎のペア間の波の相関

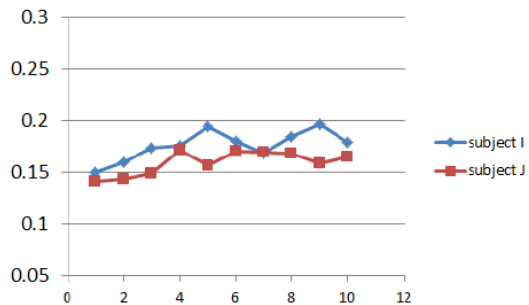


図8 1者ニューロフィードバックトレーニング効果(横軸:セッション,縦軸:波の強さ)

ックトレーニングは、その後1者のニューロフィードバックトレーニングを行った場合にもその効果が残ることを示した。

また、2者のニューロフィードバックを実施している間に、波の同期が起こるかを検証する。波の同期は訓練が進むにつれて起こると仮定するため、範囲を区切って相関係数の算出により同期現象を検証する。範囲は10トライアルで、波はトライアルごとに出した平均を使用する。図7にその結果を示す。いずれのGroupも推移に特徴はなく、同期が確認できなかった。これは単純に波の相関としては得られなかったが、これ以外の解析としてグレンジャー因果性検定を用いることで一方の被験者からもう一方の被験者へと因果性の検出を確認している。

脳波を相互にやり取りするコミュニケーション状態でのトレーニング効果が従来の1者のニューロフィードバックトレーニング効果に比べてどれくらい効果があるのかを評価するために、2者のニューロフィードバックトレーニング条件と同様の実験環境において1者のニューロフィードバックトレーニングを10セッション行った。図8に波のセッション平均の推移を示す。線形近似による1セッションあたりの波の増減は3.26 × 10⁻³と2.56 × 10⁻³で、1から10セッションでの増加率は、1.19、1.17であった。この波の1セッションあたりの増減は2者間ニューロフィードバックトレーニングの

結果と比べて比較的高かった。しかし、被験者Cや被験者Hと比べると低い。また、1セッション目と10セッション目の比較でも被験者C・F・Hよりも低い。このデータは被験者を増やし、統計的検定が必要である。しかし、1者ニューロフィードバックトレーニングは2者間ニューロフィードバックトレーニングより平均的に高く、波の増強を達成した傾向にあるが、明らかな差は示さず、コミュニケーション状態である2者間ニューロフィードバックによるトレーニング効果は、従来の1者のニューロフィードバックトレーニングと同等の効果があることを明らかにした。

2者間のコミュニケーションの形態を決定し得るフィードバックループに関する実験では、今までの実験で行ってきた両者の波を交換する方法と、両者の波を相乗平均することによってフィードバックする方法の2種類を行った。今までの実験で交換型のループを形成していた理由は、2者のうち1者のみがトレーニングできる状態を排除するためである。仮に一方だけが波を増強したとすると、相手は望ましい刺激がフィードバックされるため、内的状態を変更することはない。しかし、その相手の波は増強できていないため、増強できた人は望ましくない刺激がフィードバックされる。このため、本当は増強できていたにもかかわらず、内的状態を変更してしまう。つまり、最終的な安定状態としては両者が増強できている場合のみとなる。これは、一方だけの増強を回避することができるが、両者同時に増強できないと最終的な安定状態に達しないため、困難な問題となる。一方で、両者の波の相乗平均をとる方法は、片方だけのトレーニングを可能とし、タスクを容易にすると考えたため、この2つのコミュニケーションの形態を比較する。結果としては、交換型の方が良い結果が得られた。相乗平均の場合は、一方だけがトレーニングを達成できてしまうと、両者がそれだけでできたと勘違いしてしまうことが要因として考えられた。つまり、2者の脳波を計測し、それに伴った視覚刺激でコミュニケーションの誘発を試みたが、結果交換型のときに生じた相互作用はなかったと考えられる。これはより脳波の引き込み等の精緻な解析が期待される。

まとめると、本実験ではコミュニケーション状態である2者間ニューロフィードバックトレーニングにより、高い確率で波の増強を達成できた。さらに実験前後の1者ニューロフィードバックトレーニングにおいても増強できた。2者間ニューロフィードバックトレーニングで波の増強が十分に行えた被験者は1者ニューロフィードバックトレーニングでも増強を行えたが、2者間ニューロフィードバックトレーニングで十分な増強を行えなかった被験者は1者ニューロフィードバックトレーニングでも増強を行えない

傾向にあった。またそれぞれの結果に波の同期現象は関係がなく、同期現象も1者ニューロフィードバックトレーニングの結果とあまり変わらないことから、2者間ニューロフィードバックトレーニングでも波の相関によって求まる同期は起こらない。一方、1者ニューロフィードバックトレーニングと比較すると、2者間ニューロフィードバックトレーニングでは同程度の波の増強が行えることを明らかにした。

Wan(2014)らは1者ニューロフィードバックトレーニングを行った被験者のうち、25%から50%は波の増強を行えない被験者であると報告している。原因が不明なため、改善策は提案されておらず、特に治療法としてニューロフィードバックトレーニングを必要としている患者に適用できないのは大きな問題である。本研究では新しい訓練方法として、2者間ニューロフィードバックトレーニングを行った。2者間ニューロフィードバックトレーニングの効果も1者ニューロフィードバックトレーニングにおいてもその効果を確認しているため、1者ではトレーニングできない人に対しても、2者で行うことでトレーニングが可能となる新しい方法となる可能性がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 3件)

宮澤 初穂, 飯塚 博幸, 山本 雅人, 二者間におけるニューロフィードバックトレーニングの提案と訓練効果の検証, 第14回複雑系マイクロシンポジウム講演論文集, pp. 46-49 (2015)

宮澤 初穂, 飯塚 博幸, 山本 雅人, 一者と二者間ニューロフィードバックによるトレーニング効果の比較, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集(SI2014), pp. 164-167 (2014)

宮澤初穂, 飯塚博幸, 山本雅人, 二者間における協力ニューラルフィードバックトレーニング, 情報処理北海道シンポジウム 2014.

6. 研究組織

(1)研究代表者

飯塚博幸 (IIZUKA HIROYUKI)

北海道大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 30396832