

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16649

研究課題名（和文）脳の使い方を学ぶ精神活動・運動トレーニング法の提案

研究課題名（英文）Development of the training method based on the brain activation pattern

研究代表者

廣瀬 智士 (Satoshi, Hirose)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・研究員

研究者番号：70590058

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）：課題中の脳活動が空間解像度高く計測できる機能的磁気共鳴装置（以下fMRI）で撮像した脳機能画像から機械学習を用いて課題の成績と関連する脳活動のパターンを取り出し、成績が高い人の活動パターンを真似ることで、脳の使い方を模倣し、学習を促進することを目指した。しかし、本研究期間内では、学習に使用するのに十分な精度で課題の成績と関連する脳活動のパターンを同定することができず、学習促進を達成するには至らなかった。目的を達成するにはよりfMRI信号内のノイズに頑強な機械学習法、画像処理法の開発を進めるとともに、より多人数を対象とした実験が必要であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は脳の使い方の個性を体系的、明示的に捉える方法を提案し、それを基にまったく新しい精神活動や運動のトレーニング法を提案するための初めての試みであった。本研究において、被験者数が少なかったなどの原因により、fMRI信号から学習に使用するのに十分な精度で課題の成績と関連する脳活動のパターンを同定することができなかったが、今後、解析法の開発や、大規模実験の実施により、上記目標が達成できる可能性を示唆した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a novel training method, where a person imitate brain activation pattern of experts during a particular task, such as mental calculation, in order to improve his/her task performance. For the purpose, brain activations during the task (mental calculation) were measured by means of functional magnetic resonance imaging (fMRI). Task performance is also measured outside the scanner. The relation between brain activation patterns and task performance is extracted by using machine learning techniques. However, we could not extract robust index of the task performance from the fMRI signal. To achieve the goal, it is essential to develop of noise reduction method for fMRI signal and robust and fine-tuned machine learning methods for analyzing fMRI data, and perform larger scale experiment.

研究分野：脳科学

キーワード：fMRI 脳 個人差 学習法 脳機能解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ものを見るときには後頭葉の視覚野、手を動かすときには前頭葉の運動野など、脳科学はこれまでである行動を行うとき、被験者間で一貫して決まった脳の部位が活動することを明らかにしてきた。しかし一方である課題を行ったときの特定の部位の脳活動の強弱が被験者間で異なる場合も報告されている。さらに重要な点は、特定の領域の活動の強弱は被験者間の課題成績などの行動の差異と密接な関わりがある点である。これはある課題を遂行するためのストラテジ、つまり“脳の使い方”の差異が課題成績に影響するためと考えられる。これらの事実から、非熟練者に熟練者の脳の使い方を真似させることができれば、これまでにない有効なトレーニング法を作り出すことができると考えた。

近年、脳の活動を直接被験者に見せて、脳活動を操作させる方法(ニューロフィードバックトレーニング:NF 学習)が開発され、脳活動を操作することで行動変容をもたらすことが明らかになってきた。Charms(2005)らは、痛みを処理すると言われている前帯状皮質の活動を疼痛患者に見せ、その活動を落とすよう指示することで、疼痛の緩和効果があったことを報告している。これは、NF 学習で脳を望ましい状態(ここでは前帯状皮質の過活動がない状態)に変化させ、行動(ここでは疼痛の知覚)を改善させることができたことを示す。本研究では非熟練者に自分の脳活動を操作させるために NF 学習を用いる。

NF 学習で、非熟練者に熟練者の脳の使い方を真似させるためには、熟練者の脳の使い方の個性を学習者に理解可能な形で表現する必要がある。本研究では、このために歩行動作解析(Matsubara et al., 2012)、顔画像認識(Tenebaum et al., 2000)、筋電図解析(Matsubara and Morimoto 2013)で個性を数値的に捉えることに成功しているスタイル-コンテンツモデル(詳細は後述)を採用した。このモデルを使うことで、体系的に脳活動の個性を数値化し、学習者に理解可能な形にすることができると考えた。

2. 研究の目的

本研究が完成すれば、まったく新しい精神活動や運動のトレーニング法を提案するという技術応用に直結する点に最も大きな意義があると考えた。

さらに本研究の完成は学術的にも脳の使い方の個性を体系的、明示的に捉える方法を提案できるという重要な意味がある。脳機能イメージングの解析手法研究は、いかに被験者間で共通する表現を発見するか、言い換えるといかに個性を無視するかという方向が現在でも主流である(Haxby et al., 2011, Ejaz et al., 2015)。しかし近年、システム神経科学研究は個人差を生む脳の機能的差異に注目し始めている(Petrini et al., 2011, Kanai and Rees 2011 など)。本研究はこのための方法を提案し、個性のシステム神経科学研究を飛躍的に発展させることができる。

3. 研究の方法

本研究のテストベンチとして、1、誰もがすぐに課題の目的を理解できる、2、課題成績が広く分布する、すなわちできる人とできない人の差が大きい、3、脳の使い方が課題成績に大きく影響すると思われる、という3つの条件を満たす、暗算課題をターゲットにした。40名の被験者を募り、実験内容、目的、方法を十分説明したのち、被験者に書面による同意を得た。特に、fMRI 計測の危険性、安全に参加できる条件(体内残存金属の有無など)に関しては十分に確認し、参加可能な被験者のみで実験を行った。

予備実験により、日本珠算連盟の暗算検定4級程度の問題を出題した際に、多くの被験者が暗算で答えを導くことが可能であり、かつ正答率がばらつくため、暗算能力を調査するのに適していることがわかった。したがって、本実験用にこれに類した難易度の問題(加算、減算、乗算、除算)を作成した。

40名の被験者はまず fMRI 装置外で暗算課題を行い、成績を評価した。被験者は次々に出てくる100問の暗算課題にできるだけ素早く、正確に回答するよう求められた。回答はテンキーで入力した。キー入力に要する時間が被験者ごとに異なる可能性があるため、統制条件として、暗算ではなく、3桁の数字をみて入力する課題も行った。

期待した通り、多くの被験者が計算を行うことができた。また、正答率は98.5%から82%の間で大きくばらついた。

次に fMRI 装置内で100問の暗算を行わせ、この時の各脳領域の活動(領域内の活動のボクセル間平均)を計算する。まず、全脳を AAL アトラスに基づいて120に分割した。分割した各領域の平均脳活動を求めた。この操作をすべての試行、被験者について行い、120(脳領域) \times 40(被験者) \times 100(問題)のテンソル(3次元配列)を割り出した。

次にこの3次元配列と、fMRI 装置外で評価した被験者ごとの成績の関係を調べるため、双線形モデルにあてはめ、被験者の特徴を表す40 \times a次元行列と脳領域の特徴を表すa \times b \times 120次元テンソル、問題の特徴を表す100 \times b次元ベクトルの積に分解した。a, bはそれぞれ被験者の特徴を表すパラメタの次元数、問題の特徴を表すパラメタの次元数である。

最後に被験者の特徴を表すパラメタと fMRI 装置外で評価した暗算の成績の関係を調査した。

4. 研究成果

上記、a, bは解析者が任意に定めることができる次元数である。次元数が小さすぎると十分に被験者や問題の特徴が反映できない(アンダーフィット)反面、次元数が大きすぎると意味の

ないデータの変動にも影響を受けて過剰にデータに適合してしまい、一般原理を見つけることができない(オーバーフィット)。最適な a, b の値はデータの特徴などにも影響を受けるため、本研究では、 $a=2-20$, $b=2-40$ の間で、アンダーフィット、オーバーフィットの影響が最も少ない数値を見つけることにした。アンダーフィットはモデル誤差で、オーバーフィットはモデル汎化誤差で評価した。結果、モデル誤差を十分に小さくするためには、 $a=12$ 程度が必要であることがわかった。しかし、この値を用いた場合、各被験者の特徴は 12 次元より大きいベクトルで表され、暗算能力との関係を見るためには 40 名の被験者では不十分であった。

必要な次元数は、データの質(信号雑音比)や、脳領域の数によっても大きく変わる。特に被験者の特徴を表すベクトルの次元数(a)を小さくするために、fMRI 信号の前処理、脳領域の分割の仕方などを再考する必要がある。また、 a が高次元であっても被験者数が大きければ能力との関係は求めることができる。このため、今後、fMRI に適した解析法の開発、大規模実験の実施により問題が解決できると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Hirose Satoshi, Nambu Isao, Naito Eiichi	4. 巻 183
2. 論文標題 Cortical activation associated with motor preparation can be used to predict the freely chosen effector of an upcoming movement and reflects response time: An fMRI decoding study	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 NeuroImage	6. 最初と最後の頁 584 ~ 596
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.neuroimage.2018.08.060	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mizuguchi Nobuaki, Uehara Shintaro, Hirose Satoshi, Yamamoto Shinji, Naito Eiichi.	4. 巻 2016
2. 論文標題 Neuronal Substrates Underlying Performance Variability in Well-Trained Skillful Motor Task in Humans	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Neural Plasticity	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2016/1245259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 廣瀬 智士, 北 佳保里, 内藤 栄一, 花川 隆
2. 発表標題 課題特異的の局所性ジストニア(FTSD)患者の1時運動/体性感覚野での体部位再現
3. 学会等名 第11回Motor Control研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 廣瀬 智士, 北 佳保里, 内藤 栄一, 花川 隆
2. 発表標題 課題特異的の局所性ジストニア患者の一次運動・体性感覚野での体部位再現
3. 学会等名 第10回Motor Control研究会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----